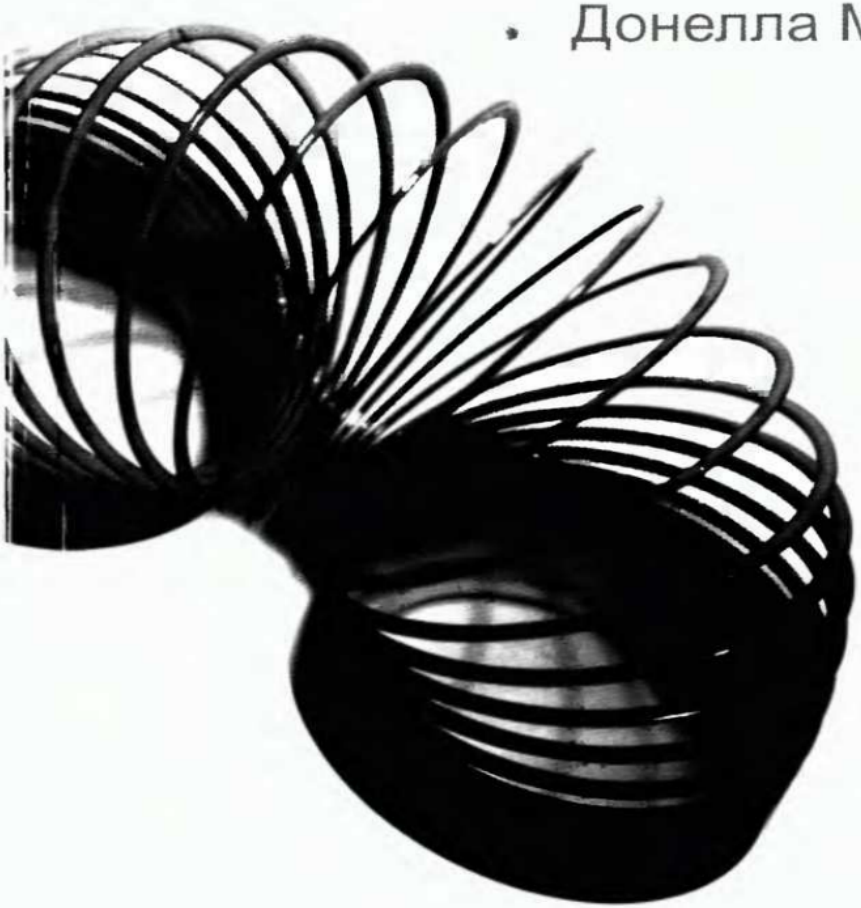
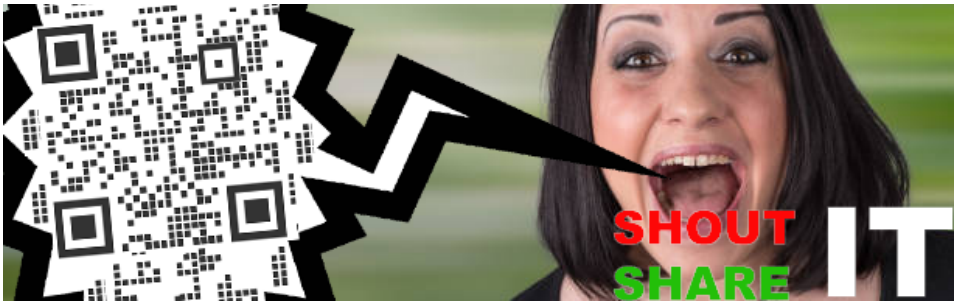
Азбука системного мышления

Донелла Медоуз




SHOUT
SHARE
IT

Annotation

В книге описаны возможности и преимущества системного подхода: показано, как важно владеть системным мышлением в современном мире перечислены системные архетипы (в том числе «системные ловушки») и их характерные признаки. Многочисленные примеры существующих систем сопровождаются анализом их эффективности и путей для изменения их поведения. Отдельные главы посвящены вопросам прогнозируемого и непрогнозируемого поведения систем, системному подходу к анализу их структуры, а также поиску ключевых точек воздействия для достижения желаемого поведения систем.

Книга носит научно-популярный и междисциплинарный характер и адресована школьникам старших классов студентам, преподавателям, предпринимателям, управленческому персоналу, а также широкому кругу читателей, интересующихся вопросами устойчивого развития, экономики, экологии, имитационного моделирования и смежных областей знаний.

-
- Системные структуры и поведение
- Системы и люди
  - Изменяем системы и мировоззрение
- notes
  - 1
  - 2
  - 3
  - 4
  - 5
  - 6
  - 7
  - 8
  - 9
  - 10
  - 11
  - 12
  - 13
  - 14
  - 15
  - 16
  - 17
  - 18

- 19
- 20
- 21
- 22
- 23
- 24
- 25
- 26
- 27

Азбука системного мышления

Донелла Медоуз

Посвящается Дане (1941-2001) и всем, кто у нее учился

Донелла Медоуз — современная Кассандра. Обращение к российским читателям

Кассандра, персонаж древнегреческой мифологии, была наделена способностью прорицать будущее, но никто не верил ее предсказаниям.

В 1972 г. Донелла Медоуз с соавторами (Деннисом Медоузом, Йоргеном Рандерсом, Вильямом Беренсом III) опубликовали отчет об исследовании, проведенном в Массачусетском технологическом институте и занявшем без малого два года. Книга "Пределы роста" содержала выводы, полученные в результате этого исследования, и описывала последствия, которые ожидают мир в долговременной перспективе, если сохранятся текущие тенденции роста численности населения, потребления энергии и природных ресурсов. Книга сделала Донеллу современной Кассандрой. Она была убеждена в том, что следует немедленно принимать меры, чтобы мир перешел к устойчивому развитию. И часто говорила о том, как нужны эти изменения, горячо доказывая их необходимость. Но большинство политиков и ведущих бизнесменов критиковали ее понимание проблем. Их интересовал только один вопрос: как ускорить экономический рост.

К 1990-м годам разрушительные последствия непрерывного роста — роста любой ценой — стали очевидными. Многие мировые лидеры заговорили о том, что так продол-

жаться дальше не может. Но Донелла чувствовала, что уже, слишком поздно, время для перехода к устойчивому развитию упущено. Теперь она предлагала принимать меры, чтобы общество могло обеспечить основные потребности человечества даже в условиях экологического и экономического кризиса. Ей снова не поверили.

Удел Кассандры — испытывать гнев и горечь, но Донелла направила свои силы на то, чтобы учить других видеть окружающий мир иначе, мыслить по-другому. Она воспринимала мир как разнообразие взаимодействующих сил, сложное, но прекрасное. Человечество само создает себе проблемы, когда раз за разом принимает абсолютно рациональные решения ради достижения краткосрочных целей, вызывая при этом глобальные разрушения в долговременной перспективе. Дана верила: чем больше людей научится понимать системное поведение, как это сделала она сама, тем активнее они будут действовать, чтобы обеспечить человечеству выживание в будущем. Люди начнут предотвращать наступление проблем, которые она предвидела.

Книга, которую вы держите в руках, — часть усилий Донеллы, направленных на обучение. Текст создавался и дорабатывался на протяжении десяти лет. Дана всегда стремилась к совершенству; она могла начать серьезный проект, но отложить его на несколько лет, чтобы быть точно уверенной в том, что работа будет выполнена безупречно. Книга еще не была закончена, когда в 2001 г. Дана неожиданно заболела. Вскоре ее не стало.

Некоторые из ее рукописей до сих пор хранятся в коробке с материалами. Эту книгу закончила и отредактировала Дайана Райт — давняя подруга Донеллы и помощница в ее исследованиях. Дайана распространяла рукопись книги среди преподавателей и студентов Донеллы, чтобы закончить ее работу. В итоге ей удалось привести книгу к виду, в котором ее уже можно было опубликовать. Это потребовало больших усилий, но дело того стоило.

Эта книга станет классическим руководством по системному мышлению. Она не утратит актуальности ни в теку-

щем столетии, ни в следующем. Донелла начала писать ее почти двадцать лет назад, ни и сейчас она нужна и полезна не меньше, чем тогда — в этом нет никаких сомнений. Конечно, специалисты, как это всегда бывает, найдут в тексте недоработки и упущения, но каждый читатель обнаружит в ней много полезного и познавательного. Книга позволяет развить способности к системному мышлению, которые пригодятся на протяжении всей жизни.

Системное мышление — понятие универсальное, и многие специалисты из самых разных областей знаний называют себя системными мыслителями с полным на то основанием. Инженеры, проектирующие системы управления для ядерных реакторов, мыслят системно. Консультанты, работающие в странах с традиционным укладом жизни и помогающие местному населению в странах Азии и Африки увеличить урожайность, мыслят системно. Экономисты, на основе статистики выявляющие зависимости между различными экономическими показателями и факторами, мыслят системно. Но все они используют понятия и допущения, относящиеся к их конкретной области знаний. К тому же их работы зачастую перегружены математическими выкладками и условными обозначениями, разобраться в которых могут только специалисты в той же самой области — всем остальным они совершенно непонятны.

Донелла была непревзойденным системным мыслителем, и ее книга сильно отличается от всего прочего, что написано на ту же тему. **В** «Азбуке системного мышления» она дает

терминологию и инструментарий, которые может использовать любой читатель — даже тот, кто не силен в математике. **В** качестве примеров она приводит рост численности населения, динамику мирового улова рыбы, истощение запасов нефти, экономический рост и многое другое. Книга иллюстрирует глубокую убежденность Донеллы в том, что «системное мышление не ограничивается рамками какой-либо научной дисциплины или культуры. **В** каком-то смысле оно стоит над ними всеми и проявляется в любые моменты истории».

Проблемы, из-за которых была создана эта книга, не исчезнут при нашей с вами жизни. Но чтобы противостоять им, лучше вооружиться системным мышлением, а не пребывать в наивном заблуждении, будто у каждой проблемы есть простая причина и быстрое решение. Тогда мы обретем решимость вместо отчаяния. И в конце концов сможем прийти к такому обществу на нашей планете, которое будет использовать сложное, но прекрасное разнообразие взаимодействующих сил, чтобы избавиться от массы проблем, что человечество создало, еще не умея мыслить системно.

Дарем, Нью-Гемпшир, США 23 ноября 2009 г.
Деннис Медоуз

Предисловие редактора

В 1993 г. Донелла (Дана) Медоуз закончила работу над первой версией книги, которую вы держите в руках. Тогда ее публикацию отложили, но многие годы по рукам ходили компьютерные распечатки. В 2001 г. Дана скоропостижно скончалась, не успев закончить итоговый вариант книги. За годы, прошедшие после ее ухода, стало понятно, что работа была не напрасна и книга будет полезна самому широкому кругу читателей. Дана была не только ученым, но и писателем, и к тому же одним из лучших в мире популяризаторов системного моделирования.

В 1972 г. вышла книга «Пределы роста»; теперь она широко известна и переведена на множество языков. Дана была ее основным автором. Предостережения, которые Дана с соавторами адресовали всему миру, теперь признаны обоснованными, и очень точно характеризуют тот хаос, что воцарится на планете, если не взять под контроль неустойчивые модели поведения. «Пределы роста» упоминались в заголовках газет по всему миру, потому что в книге прямо утверждалось: постоянный рост населения и потребления может нанести серьезный вред экологическим и

социальным системам, поддерживающим жизнь на Земле; стремление к бесконечному экономическому росту в конечном итоге приведет к разрушению большинства локальных, региональных и мировых систем. Выводы, сде-ланные в «Пределах роста» и в продолжениях этой работы, снова попадают в заголовки газет каждый раз, когда мир сталкивается с очередными проблемами, будь то резкое повышение цен на нефть, изменение климата или другие последствия физического роста на планете, где уже живет 6,6 млрд человек.[1]

Именно Дана сформулировала идею о том, что нужно пересмотреть наше представление о мире и его системах, чтобы изменить ход событий. На сегодняшний день уже повсеместно признано, что системное мышление — необходимый инструмент для решения множества экологических, политических, социальных и экономических проблем, с которыми сталкивается современный мир. Системы, будь они большие или маленькие, часто ведут себя схожим образом, и понимание их поведения, пожалуй, самый действенный путь к тому, чтобы изменить их на том или ином уровне. Дана писала эту книгу в надежде поделиться такими знаниями с широкой аудиторией. По этой же причине мы с коллегами из Института устойчивого развития[2] решили, что надо подготовить книгу к изданию, несмотря на то, что ее автора уже нет с нами.

Может ли очередная книга чем-то помочь всему миру или лично вам, читатель? Я очень на это надеюсь. Возможно, вы работаете в компании (или владеете компанией) и страстно желаете, чтобы ваш бизнес или организация сделали шаг к лучшему будущему. Может быть, вы — лицо, принимающее решения, но кто-то постоянно ставит палки в колеса вашим начинаниям и выступает против новых идей. Или вы — менеджер, работающий от зари до зари, чтобы решить проблемы в компании или организации, но только для того, чтобы увидеть, как на месте прежних проблем сразу же возникают новые. Если вы считаете, что надо что-то менять в семье и обществе, в представлениях о моральных ценностях и их защите, то вы наверняка замечали, что иногда годы постепенных улучшений, давшихся с большим трудом, могут быть перечеркнуты всего несколькими неразумными действиями. Не исключено, что вы просто разочарованы тем, как трудно в современном обществе добиться хотя бы малого, но устойчивого изменения к лучшему.

Если вы думали об этом, то, скорее всего, книга Даны вам пригодится. Хотя сейчас можно найти массу литературы, в названии которой фигурирует «Системное моделирование» или «Системное мышление», но на самом деле существует реальная

потребность в понятной и доступной книге о системах и о нас самих. Она должна объяснить, *почему* поведение систем бывает таким неожиданным, *как* можно научиться управлять ими и изменять их, а главное — она должна давать надежду на лучшее.

В то время, когда Дана писала первую версию «Азбуки системного мышления», она как раз закончила работу над книгой «За пределами роста» — обновлением издания «Пределы роста»[3] по прошествии двадцати лет. Дана была постоянным участником научных программ по защите окружающей среды, сотрудничала с Комитетом по научным исследованиям при Национальном географическом обществе США и вела курсы по этике, окружающей среде и поведению систем в Дартмутском колледже. Вся ее деятельность была неразрывно связана с тем, что происходит вокруг нас каждый день, и она умела распознавать в происходящих событиях результаты поведения систем, подчас довольно сложных.

Исходную рукопись пришлось отредактировать, а структуру глав изменить, но все равно Ьолыпая часть примеров, приведенных в этой книге, осталась в ней с первого варианта 1993 г. Эти примеры могут показаться вам несовременными, но, редактируя книгу, я предпочла оставить их как есть, потому что они не утратили актуальности и по-прежнему подходят для обучения. Начало 1990-х гг. памятно по распаду СССР и серьезным изменениям в других социалистических странах. В тот же период государства Северной Америки подписали соглашение о свободной торговле. Армия Ирака аннексировала Кувейт, а потом отступила, по пути поджигая нефтяные месторождения. Нельсона Манделу выпустили из многолетнего заключения, и ЮАР отменила режим апартеида. Президентом Польши избрали профсоюзного лидера Леха Валенсу, а президентом Чехословакии — драматурга Вацлава Гавела. Международная группа экспертов по изменению климата выпустила свой первый отчет по выбросам, в котором говорилось, что «выбросы в результате человеческой деятельности вызывают существенный рост концентрации парниковых газов в атмосфере, что приведет к усилению парникового эффекта и дополнительному росту температуры на поверхности Земли». В Рио-де-Жанейро прошла Конференция ООН по вопросам окружающей среды и развития.

В это время Дана участвовала в разных встречах и конференциях по всему миру. Читая в пути газету International Herald Tribune, она за неделю нашла в ней массу примеров систем, которые нуждались либо в улучшении управления, либо в полном изменении структуры. Такие системы встречаются нам ежедневно, так что нет ничего удивительного, что Дане удалось

набрать примеры из обычной газеты. Когда за ежедневными событиями вы начинаете улавливать общие тенденции (а они, в свою очередь, достаточно четко характеризуют внутреннюю структуру системы), уже не сложно увидеть новые пути управления и найти новые способы выживания в мире сложных систем. Я надеюсь, что книга Даны поможет читателям понимать системы, окружающие нас, обмениваться информацией о них и вместе добиваться изменений к лучшему.

Я бы очень хотела, чтобы эта небольшая, изложенная доступным языком книга о поведении систем и о том, как мы их воспринимаем, оказалась полезной в мире, которому сейчас необходимы быстрые изменения, при том, что его системы очень сложны. Это простая книга о сложном мире. Это книга для тех, кто хочет создать ему лучшее будущее.

Дайана Райт, 2008 г.

Другие книги, написанные Донеллой Х. Медоуз

Harvesting One Hundredfold: Key Concepts and Case Studies in Environmental Education (1989) — «Как собрать стократный урожай: ключевые понятия и изучение на примерах в образовании для устойчивого развития»; книга на русский язык не переводилась.

The Global Citizen (1991) — «Гражданин планеты»; книга на русский язык не переводилась.

В СОАВТОРСТВЕ С ДЕННИСОМ МЕДОУЗОМ:

Toward Global Equilibrium (1973) — «На пути к глобальному равновесию»; книга на русский язык не переводилась.

В СОАВТОРСТВЕ С ДЕННИСОМ МЕДОУЗОМ,
ЙОРГЕНОМ РАНДЕРСОМ, ВИЛЬЯМОМ БЕРЕНСОМ III:

The Limits to Growth (1972) — Медоуз Д. Х., Медоуз Д. Л., Рэндерс Й., Беренс В. «Пределы роста». М.: Изд-во МГУ, 1991. 208 с.

В СОАВТОРСТВЕ С ДЕННИСОМ МЕДОУЗОМ
И ЙОРГЕНОМ РАНДЕРСОМ:

Beyond the Limits (1992) — Д. Х. Медоуз, Д. Л. Медоуз, Й. Рэндерс, «За пределами роста». М.: Изд. группа «Прогресс», «Пангея», 1994. 304 с.

Limits to Growth: The 30-Year Update (2004) — Донелла Медоуз, Деннис Медоуз, Йоргсп Рандерс, «Пределы роста. 30 лет спустя». М.: «Академкнига», 2008. 344 с.

В СОАВТОРСТВЕ С ДЕННИСОМ МЕДОУЗОМ И ДР.:

The Dynamics of Growth in a Finite World (1974) — «Динамика роста в конечном мире»; книга на русский язык не переводилась.

В СОАВТОРСТВЕ С ДЖОНОМ РИЧАРДСОНОМ
И ГЕРХАРДОМ БРУКМАННОМ:

Groping in the Dark: The First Decade of Global Modeling (1982) — «Блуждая в потемках: первые десять лет глобального моделирования»; книга на русский язык не переводилась.

СОВМЕСТНО С ДЖЕННИ РОБИНСОН:

The Electronic Oracle: Computer Models and Social Decisions (1985) — «Электронный оракул: компьютерные модели и социальные решения»; книга на русский язык не переводилась.

От автора

Эта книга появилась благодаря опыту системного моделирования и обучения, накопленному за тридцать лет десятками талантливых людей. Большая часть из них входила в группу системного моделирования при Массачусетском технологическом институте или работала в смежных отраслях. Основную роль сыграл, конечно же, Джей Форрестер, основатель группы. Кроме него, необходимо перечислить еще несколько человек, которые были моими учителями (и студентов, которые стали моими учителями): Эд Робертс, Джек Пью, Деннис Медоуз, Хартмут Боссел, Барри Ричмонд, Питер Сенге, Джон Стерман, Питер Аллен... В этой книге используются идеи, термины, примеры, цитаты, работы и знания огромного количества людей, отличных специалистов в своих областях. Всем им я очень благодарна и выражаю самую искреннюю признательность.

Многое удалось почерпнуть у выдающихся деятелей науки и политики. Насколько мне известно, они никогда не прибегали к компьютерному моделированию, но, тем не менее, действовали как прирожденные системные мыслители. В этом ряду Грегори Бейтсон, Кеннет Боулдинг, Герман Дейли, Альберт Эйнштейн, Гаррет Хардин, Вацлав Гавел, Льюис Мамфорд, Гуннар Мюрдаль, Эрнст Фридрих Шумахер... Сюда же можно добавить целый ряд современных корпоративных управленцев, а еще тех безымянных мудре-цов и философов, которыми богата любая культура, от американских индейцев до слгфиев Ближнего Востока. И пусть вам не кажется странным такое сочетание — системное мышление не ограничивается рамками какой-либо научной дисциплины или культуры. В каком-то смысле оно стоит над ними всеми и проявляется в любые моменты истории.

Коль скоро речь зашла о рамках, надо признать их влияние и на наше собственное мышление. Системщики используют междисциплинарные (точнее, наддисциплинар-ные) понятия,

однако все мы — люди, и каждый из нас воспитан в рамках той или иной школы, того или иного мировоззрения. Я использую терминологию и обозначения из системной динамики, потому что специализировалась именно в этой области. В этой книге представлены только основные аспекты системной теории, вовсе не последние ее достижения. Я не затрагиваю отвлеченные и абстрактные теории; анализ меня интересует лишь постольку, поскольку он может помочь в решении реально существующих проблем. А если в один прекрасный день абстрактный подход в системной теории окажется полезен для этой цели (вполне возможно, что так и будет), тогда кто-нибудь просто напишет еще одну книгу.

Поэтому читателя надо честно предупредить: книга, которую вы держите в руках, как и все книги на свете, не может считаться полной или претендовать на абсолютную объективность. Если системный подход вас заинтересует, то системное поведение начнет обнаруживаться во всем, что нас окружает, и таких примеров будет гораздо больше, чем приведено в книге. Неизмеримо больше. Одна из моих задач как раз и состояла в том, чтобы вызвать интерес читателя. Другая цель (пожалуй, даже более важная) — научить вас понимать основы поведения сложных систем, чтобы с ними можно было успешно взаимодействовать, даже если ваше знакомство с системным подходом ограничится лишь этой книжкой.

Донелла Медоуз, 1993 г.

Сели предприятие разрушено до основания, но движущая сила, создавшая его, никуда не исчезла, то эта сила просто создаст еще одно предприятие.

Если в результате революции правительство свергли, но общественное мнение и структуры, приведшие его к власти, остались прежними, то история повторится заново.

О системах так много говорят! И так мало в них понимают…

Роберт Пирсиг. «Дзен и искусство ухода за мотоциклом»

Введение: системный взгляд

Лица, принимающие решения, сталкиваются не с отдельными, не зависящими друг от друга проблемами, а с постоянно меняющейся ситуацией, в которой сложные сочетания изменяющихся проблем взаимодействуют и влияют друг на друга.

Я называю это беспорядком…

Лица, принимающие решения, не решают проблемы, они лишь управляют беспорядком.

Рассел Эйкофф[4], специалист по теории управления

Когда я начинаю вести очередной курс по системам, то часто приношу в аудиторию пружинку-Слинки. Если в детстве вам не довелось играть с такой игрушкой, поясню: Слинки — это длинная, свободная пружина, которую можно держать на весу, чтобы она болталась вверх-вниз, заставлять переваливаться из одной руки в другую и даже спускать по лестнице со ступеньки на ступеньку.

Я кладу Слинки на ладонь одной руки, другой рукой беру ее за верхнюю часть, а затем убираю первую руку.

Нижние витки Слинки распускаются, и пружина совершает под моей рукой колебательные движения — вверх и вниз, вверх и вниз.

Затем задаю студентам вопрос: «Почему пружина колеблется вверх-вниз?»

«Потому что Вы убрали руку», — отвечают они.

Тогда я кладу Слинки в коробку, в которой продавалась эта игрушка, помещаю коробку на ладонь, берусь другой рукой за верхнюю часть пружинки и, выдержав драматическую паузу, снова убираю первую руку.

Ничего не происходит. Коробка застревает на витках пружины, не давая ей распуститься.

Повторяю вопрос: «Почему пружина в прошлый раз колебалась вверх-вниз?»

Ответ заключается в конструкции игрушки. Руки лишь подавляют или высвобождают поведение, изначально свойственное пружине.

В этом вся суть системного подхода.

Если удается установить взаимосвязь между структурой и поведением, то мы начинаем понимать, как работают системы, почему они дают те или иные результаты, и как изменить поведение таким образом, чтобы достичь лучших результатов. Современный мир быстро меняется, становится все сложнее, и системное мышление поможет видеть, пользоваться и управлять теми возможностями, что открываются перед нами. Именно этот тип мышления позволяет устанавливать настоящие причины проблем и находить способы их разрешения.

Что образует систему? Система — это набор элементов (клеток, молекул, людей, чего угодно), связанных друг с другом таким образом, что их взаимодействие определяет дальнейшее поведение системы. Системы могут подвергаться воздействиям, на них могут накладываться ограничения, какие-то факторы

могут служить для них пусковым толчком, они могут управляться воздействиями извне. Однако отклик системы на подобные внешние воздействия — это прежде всего свойство самой системы, и в реальном мире такие отклики практически никогда не бывают простыми.

Что касается пружинки-Слинки, то ее поведение понять несложно. Иначе обстоят дела с поведением таких систем, как отдельные люди, компании, города, экономические системы. Система сама определяет свое поведение в долговременной перспективе. Внешние воздействия могут высвобождать и активизировать поведение системы, но то же самое внешнее воздействие, приложенное к другой системе, вероятнее всего, приведет к совершенно другим результатам.

Задумайтесь о вытекающих из этого следствиях:

■ Экономические взлеты и падения вызываются вовсе не действиями политических лидеров. Подъем или рецессия — неотъемлемые свойства рыночной экономики, ее структуры.

■ Компании крайне редко теряют свою долю рынка из-за конкурентов. Те, конечно, извлекут из этого выгоду, но причины потерь заключаются (как минимум, частично) в деловой политике самой компании.

■ За рост цен на нефть несут ответственность не только страны-экспортеры нефти. Только их собственные действия не могут приводить к глобальным скачкам цен и хаосу в экономике — в этом повинно также то, что политика потребления нефти, ценообразования и инвестирования, принятая в странах-импортерах, не дает построить в них экономику, устойчивую к перебоям в поставках.

■ Вирус гриппа не нападает на вас — это вы создаете условия, при которых он может оказать вредное воздействие на ваш организм.

■ Наркозависимость — это не ошибка отдельно взятого человека. И никакой отдельно взятый человек не в состоянии избавить наркомана от зависимости, какими бы чувствами он ни руководствовался и какие бы усилия ни прилагал. Даже сам наркоман в одиночку не

может победить зависимость. С ней можно справиться, только если осознать всю совокупность взаимных влияний и социальных проблем, одна из которых — пристрастие к наркотикам.

В этих утверждениях что-то вызывает сомнение, а что-то воспринимается как выражение здравого смысла. Такие реакции можно считать, соответственно, противостоянием системным принципам или их принятием. Это две стороны человеческого опыта, они знакомы каждому.

С одной стороны, нас всех учили анализировать, использовать рациональное мышление, устанавливать прямые связи между причиной и следствием, изучать новое небольшими порциями, легкими для понимания. Нас также учили, что проблемы можно решить, приняв конкретные меры, что миром вокруг нас можно управлять. Такое обучение позволяет обрести индивидуальную и общественную власть, и оно же заставляет нас считать виновниками всех проблем президентов, конкурирующие на рынке компании, организации вроде ОПЕК... Мы считаем грипп и наркозависимость *причинами* наших проблем.

С другой стороны, задолго до того, как мы начинаем осваивать рациональный анализ, мы уже имеем дело со сложными системами. Люди сами по себе — тоже сложные системы. Человеческий организм — замечательный пример интегрированной, взаимосвязанной, самоподдер-живающей сложной системы. Каждый человек, каждая организация, каждое животное, сад, дерево, лес — все это сложные системы. Мы осознаем это интуитивно, без анализа, часто даже без слов — это практическое понимание того, как эти системы работают и как с ними взаимодействовать.

Современные теории систем, неразрывно связанные с применением компьютеров и моделей, своей сложностью маскируют тот факт, что на самом деле основы поведения систем в той или иной степени интуитивно понимает каждый. В большинстве случаев можно изложить суть системного поведения не в сложных терминах, а в понятиях обычного здравого смысла.

Поскольку в сложных системах обратная связь имеет запаздывание, к тому моменту, когда проблема становится явной, ее уже гораздо сложнее разрешить.

— Проблемы растут как снежный ком.

В соответствии с принципом конкурентного исключения, если усиливающий цикл обратной связи* вознаграждает победителя в соревновании дальнейшими выигрышами, то рано или поздно большинство конкурентов из соревнования будут исключены.

— Ибо кто имеет, тому дано будет, а кто не имеет, у того отнимется и то, что имеет (Евангелие от Марка, 4:25).

— Богатые становятся еще богаче, а бедные еще беднее.

Многообразные системы с большим количеством связей и резервных циклов демонстрируют большую стабильность и меньшую подверженность внешним воздействиям, чем однородные системы с малым разнообразием.

— Не кладите все яйца в одну корзину.

Начиная со времен промышленной революции, западное общество постоянно получало больше преимуществ от

применения науки, логики и редукционизма, чем от интуиции и холистического мировоззрения. Психологически и политически мы склонны искать причину проблем прежде

Используемые в тексте здесь и далее словосочетания «усиливающий цикл*, «усиливающая петля обратной связи», «усиливающая обратная связь» тождественны понятию «цикл (контур) с положительной обратной связью» — термину, широко используемому в отечественной литературе по системной динамике. Словосочетаниям «балансирующий цикл», «балансирующая петля обратной связи», «балансирующая обратная связь» соответствует понятие «цикл (контур) с отрицательной обратной связью». — *Примеч. ред.*

всего вовне, а не внутри. Практически невозможно удержаться от искушения обвинить кого-то или что-то снаружи, ведь это позволяет переложить ответственность на кого-то другого. Нам тогда потребуется лишь найти заветную кнопку управления, принять волшебную пилюлю или таблетку, создать нужный вид продукции — то есть найти техническое средство устранения проблемы.

Мы привыкли решать серьезные проблемы, сосредотачиваясь на внешних факторах, — предотвращая эпидемии оспы, увеличивая производство продовольствия, перемещая за короткое время большое количество грузов и людей на большие расстояния. Но из-за того, что эти факторы — лишь часть больших и сложных систем, некоторые из принятых «решений» на самом деле лишь создают другие проблемы. При этом некоторые из таких проблем — те, что непосредственно связаны с внутренней структурой сложных систем и вызывают наибольшие затруднения — вообще не удается разрешить.

Голод, нищета, деградация окружающей среды, экономические потрясения, безработица, хронические заболевания, наркозависимость, военные столкновения — все эти явления никуда не исчезают, несмотря на то, что человечество прилагает массу усилий, чтобы их искоренить. Эти проблемы никто специально не создает, и никто не хочет, чтобы они оставались нерешенными, но избавиться от них все равно не удается. Так происходит потому, что это внутренние, присущие самим системам проблемы, — это нежелательное поведение, порождаемое самой структурой системы. Добиться улучшения можно только в том случае, если люди начнут использовать свою интуицию, перестанут искать виноватых, поймут, что источник проблем имеет системный характер, и отважатся на то, чтобы изменить *структуру*.

Это очевидно. Но это ниспровергает устоявшиеся взгляды на жизнь, выглядит непривычным. Утешает то, что решения — в наших руках. Но одновременно тревожит то, что нам придется *видеть, думать* и *действовать* иначе, не так, как мы привыкли.

Эта книга о том, как научиться видеть и думать иначе. Она адресована тем, кто настороженно относится к понятию «системы» и теории системного анализа, хотя на самом деле в своей жизни все мы можем применять системный подход неосознанно. Обсуждения в книге содержат минимум технических подробностей, чтобы подчеркнуть, что в понимании системного поведения можно далеко продвинуться и без помощи компьютерного и математического моделирования.

В книге широко используются схемы и графики изменений во времени, поскольку системное поведение невозможно обсуждать только на словах. Предложения и положения, сформулированные словесно, носят линейный, последовательный характер, в то время как в системах события происходят нелинейно. Системы не однонаправленны, их деятельность происходит одновременно во множестве направлений. Чтобы обсуждение давало желаемый результат, иногда приходится использовать терминологию, которая носит тот же характер, что и само изучаемое явление.

В таких случаях иллюстрации более информативны, чем слова, ведь все части схемы или рисунка можно видеть одновременно. В книге используются структурные схемы, но их усложнение идет постепенно — сначала изучаются самые простые из них.

Изложение начинается с основ: определения понятия системы и анализа ее составных частей (здесь применяется редукционистский подход[5]). Затем отдельные части системы сопоставляются друг с другом, чтобы показать, как они взаимодействуют в рамках единой системы — так описываются циклы (петли) обратной связи.

Затем вы познакомитесь с «системным зоопарком» — подборкой самых распространенных и интересных типов систем. Вы узнаете, как ведут себя некоторые из них и где их можно обнаружить в реальной жизни. Они присутствуют не только в нашем окружении, но и внутри нас, и вы научитесь распознавать их.

На примере нескольких таких «системных животных», специально подобранных для этой цели, можно показать, как системы ведут себя и по каким причинам именно так, а не иначе. Вы узнаете, почему так часто поведение систем становится для нас неожиданным и озадачивает. Мы увидим, как составные части системы — кто-то или что-то — пытаются работать рационально,

в соответствии с общей целью, производя осмысленные действия, и как при этом достигаются просто ужасающие результаты. Как зачастую события происходят гораздо быстрее или наоборот, медленнее, чем кто-либо мог предполагать. Как действия, которые раньше всегда приводили к успеху, вдруг перестают давать ожидаемый результат, принося лишь разочарование. Как система внезапно, без предупреждения, начинает демонстрировать поведение, которое раньше и представить себе было нельзя.

Обсуждение этих явлений позволит изучить распространенные проблемы, над разрешением которых постоянно работают группы специалистов, умеющих применять системное мышление — в рамках корпораций, правительств, экологических и экономических систем, в области физиологии и психологии... Рассматривая распределение водных ресурсов между потребителями или распределение финансовых средств между образовательными учреждениями, мы увидим знакомые черты и придем к выводу о том, что это еще одна разновидность так называемой **трагедии общин**[6]**.** Изучая правила ведения бизнеса и факторы, которые стимулируют или замедляют развитие новых технологий, мы научимся выделять разрушительные и ложные цели. Анализируя принятие решений властями и распределение ответственности в семье, сообществе или стране, мы увидим сопротивление внешнему влиянию. Мы изучим природу зависимости и привыкания, причем это явление гораздо шире, чем пристрастие к алкоголю, кофеину, никотину или наркотикам.

Специалисты в области системного мышления называют такие распространенные структуры, демонстрирующие определенный тип поведения, архетипами. В первой редакции этой книги вместо понятия «архетип» использовалось словосочетание «системные ловушки», но затем в названии появилось дополнение: «и возможности», поскольку даже те архетипы, которые ответственны за самые серьезные и потенциально опасные проблемы, можно преобразовать, чтобы их поведение приводило к желаемым результатам — для этого необходимо понять системность их поведения.

От понимания системности мы перейдем к изучению изменений в окружающих нас системах, в их структуре, научимся находить ключевые точки, воздействие на которые способно приводить к изменениям.

В завершающем разделе книги приводится информация о некоторых системах, с которыми мы сталкивались в жизни, — опыт и знания, накопленные и разделяемые большинством

системных специалистов, знакомых автору. Тем, кто собирается дальше совершенствовать свои навыки системного мышления, будут полезны приложения в конце книги: глоссарий, список источников по теме, краткий обзор системных принципов, а также уравнения, используемые в моделях из первой части книги.

Когда некоторое время назад нашу небольшую исследовательскую группу перевели из Массачусетского технологического института в Дартмут-колледж, один из дартмутских профессоров инженерного направления сначала понаблюдал за нашими семинарами со стороны, а потом пришел к нам с личным визитом. «Вы не такие, как все, — сказал он. — Вы задаете другие вопросы. Вы видите то, чего я не вижу. Вы воспринимаете мир иначе. Как? Почему? »

Ответы на эти вопросы и должна дать вам эта книга, в особенности ее выводы. Не думаю, что системный подход всегда и во всем лучше редукционистского типа мышления. Они должны дополнять и корректировать друг друга. Какие-то явления можно изучать невооруженным глазом, другие с помощью микроскопа, третьи — с помощью телескопа, а некоторые требуют системного подхода и системной теории. Все эти явления реальны, но каждое из них можно зафиксировать только с помощью соответствующего инструментария. Каждый из этих методов позволяет так или иначе расширить наши знания об окружающем мире.

Наша жизнь становится все более хаотичной, население растет, различные факторы по-разному взаимодействуют между собой, изменения происходят все быстрее, поэтому чем больше методов познания мы сможем использовать, тем лучше. Системное мышление и системный подход позволяют нам использовать интуицию, чтобы:

■ развить способности к пониманию составных частей систем;

■ улавливать взаимосвязи;

■ задавать вопросы «Что, если...?» и анализировать будущее поведение систем,

а также

■ уметь и не бояться менять структуру системы.

И тогда нам удастся изменить и себя, и мир вокруг нас.

Притча о слепцах и слоне

По ту сторону от Эль-Гхора был город, все жители которого были слепыми. Однажды поблизости от города, в пустыне, расположился лагерем чужеземный царь со своим войском. В нем был огромный боевой слон, наводивший ужас на врагов одним своим видом.

Всем жителям города не терпелось узнать, что это такое —

слон. Чтобы выяснить это, несколько слепцов отправились на его поиски. Не имея ни малейшего представления о том, какие бывают слоны, они принялись ощупывать его со всех сторон. И каждый, потрогав какую-то одну часть, решил, что теперь он знает о слонах все.

Трогавший ухо сказал:

— Слон — это нечто большое, широкое и шершавое, как ковер.

Тот, кто касался хобота, сказал:

— У меня есть о нам подлинные сведения. Он похож на большую пустую трубу, что внушает страх и сеет разрушение.

Тот, кто ощупывал ногу, сказал:

— Слон могуч и крепок, как колонна.

Каждый познал лишь часть целого. И каждый был неправ...*

Эта древняя суфийская притча служила многим поколениям уроком, который мы, к сожалению, часто упускаем из виду: нельзя понять поведение системы лишь по составляющим ее частям.

•*к*

Idries Shah. **Tales of the Dervishes. New York: E. P. Dutton, 1970. 25.**

Часть I

Системные структуры и поведение

■ **Глава I. Основы**
Глава II. Краткий обзор систем разных типов (экскурсия в «системный зоопарк»)
1 ГЛАВА

Основы

Сколь сложной ни казалась бы проблема на первый взгляд, она, если правильно к ней подойти,
окажется еще сложнее.
Пол Андерсон[7]

Больше, чем сумма составляющих частей

Система — не просто набор отдельных частей. Система[8] — это совокупность элементов, связанных между собой и согласованно действующих для достижения определенной цели. Прочтите определение в Глоссарии, из него к тому же следует, что системы строятся на трех обязательных составляющих: *элементы, взаимосвязи* и *назначение* (или *цель)*.

Возьмем в качестве примера пищеварительную систему. Ее элементы — жевательный аппарат, желудок, ферменты, кишечник... Все они, как и множество других органов, связаны кровеносной системой и к тому же управляются довольно сложным набором химических сигналов.

Назначение этой системы — выделять из пищи питательные вещества и передавать их другой системе (кровеносной), а от отходов избавляться.

Другой пример — футбольная команда; ее элементы — игроки, тренер, футбольное поле, мяч... Взаимосвязями служат правила игры, стратегия, которую разрабатывает тренер, обмен информацией между игроками, а также законы физики, управляющие полетом мяча и движениями игроков. Цели у команды могут быть разными: выигрывать матчи, получать удовольствие от игры, зарабатывать большие деньги, получать физическую нагрузку, а может, все вместе взятое.

Школа — это тоже система. И город. И завод. И корпорация. И экономика страны. Каждое животное тоже представляет собой систему. Отдельно взятое дерево — система, а лес — это система более высокого порядка, состоящая из подсистем — деревьев, животных... Планета Земля — тоже система, и солнечная система, и галактика. Вместе системы могут образовывать более сложные системы, которые, в свою очередь, составляют системы еще более высокого уровня.

Существует ли в мире что-нибудь, что нельзя назвать системой? Да, конечно: это набор некоторых объектов, у которых нет ни взаимосвязей, ни общей цели. Случайно рассыпанный по дороге песок, его частички — это не система. Их можно убрать с дороги или наоборот, насыпать еще больше, но суть от этого не изменится — это всего лишь песок на дороге. А вот если вы будете произвольно выпускать на поле или удалять футболистов или вырезать органы пищеварительной системы, эффект будет совершенно другой — система уже не будет прежней.

Когда живое существо умирает, оно утрачивает качества системы. Многочисленные взаимосвязи, которые регулировали ее поведение, уже не действуют, она распадается, но при этом материя, из которой она состояла, остается частью более крупной мировой системы — пищевой сети. Некоторые люди отмечают, что в старых городках, где все друг с другом знакомы, можно говорить о социальной системе, в то время как в новостройках, где никто никого не знает, никакой системы нет до тех пор, пока обитатели не перезнакомятся и не установят между собой отношения — и тогда возникнет новая система.

Система — нечто большее, чем просто сумма составляющих ее частей. Она может демонстрировать разные виды поведения: быть динамичной, стремиться к какой-то цели, приспосабливаться к внешним условиям, стремиться к самосохранению, претерпевать эволюционные изменения...

Из этих примеров понятно, что системы обладают характерным качеством — цельностью, причем у любой системы есть целый ряд механизмов для поддержания этой цельности. Системы могут меняться, приспосабливаться, реагировать на внешние события, преследовать какие-то цели, восстанавливаться после повреждений и заботиться о собственном выживании, словно живые существа, хотя многие из них содержат неживые составляющие или даже полностью состоят из них. Системы

могут самоорганизовываться и очень часто способны к самовосстановлению, по крайней мере, в определенном диапазоне. Системы обладают упругостью, к тому же многие из них эволюционируют. Из одной системы может возникнуть другая, совершенно новая, каких раньше никогда не было и даже вообразить было нельзя.

Оценим правила игры со стороны

Вы думаете, что если вы знаете, что такое «один», то вы знаете и что такое «два», потому что один и один будет два. Но вы забываете о том, что должны понимать, что такое «и».

Суфийская притча

Обычно определить элементы системы нетрудно — большинство из них материальны, их легко обнаружить. Элементы, составляющие дерево, — корни, ствол, ветви и листья. Если перойти на более детальный уровень, ти элементами будут клетки различных типов: сосуды, по которым вверх и вниз движутся жидкости; хлоропласты и т. д. В такой системе, как, например, университет, элементами будут учебные корпуса, студенты, профессора, административные служащие, библиотеки, книги, компьютеры — перечислять можно очень долго, к тому же потом к списку можно добавить, из чего, в свою очередь, состоит все это. Но элементы не обязательно должны иметь физическое воплощение. Они могут быть и нематериальными. В университетах, например, может царить академический дух, понятие «научной школы», и такие элементы могут быть для системы чрезвычайно важны. Если вы начнете перечислять элементы системы, то список может расти до бесконечности, ведь их можно подразделять на элементы более низкого порядка, а те, в свою очередь, на еще более мелкие. В какой-то момент вы утратите представление о системе в избытке подробностей — за деревьями не увидите леса.

Прежде чем углубиться в эту тему, стоит на время отложить анализ отдельных элементов и обратить внимание на *взаимосвязи,* взаимные влияния между ними.

Поразмыслите над этим

Как определить, система перед вами или набор разрозненных деталей:

А) Можете ли вы идентифицировать составные части?

Б) Влияют ли части друг на друга?

В) Могут ли части, взятые вместе, дать такой результат, к которому они не смогут привести по отдельности?

Г) Достигается ли тот же результат, сохраняется ли то же поведение, если внешние условия меняются?

В такой системе, как дерево, взаимосвязями будут физические потоки и химические реакции, управляющие метаболизмом дерева, — это сигналы, позволяющие одним частям системы откликаться на то, что происходит в других частях. Например, солнечным днем листья теряют влагу, давление в подающих воду сосудах падает, и разность в давлении позволяет корням впитать больше влаги из почвы. И наоборот, если почва, окружающая корни, пересохла, падение давления отправит листьям сигнал закрыть поры, чтобы дерево не теряло ценную влагу.

Когда в умеренном поясе дни становятся короче, химические сигналы в лиственных деревьях вызывают перенаправление потоков питательных веществ от листьев к стволу и корням. Черенки листьев усыхают, начинается листопад. Существуют также сигналы, которые позволяют некоторым деревьям испускать вещества, отпугивающие насекомых, или делать стенки клеток более прочными, если какая-то часть растения подверглась атаке вредителей. Никому в мире досконально не известны все внутренние механизмы, позволяющие деревьям реагировать тем или иным образом. Нехватка таких знаний неудивительна — гораздо проще изучить отдельные элементы, чем связи между ними.

В системах, которые представляют собой университеты, взаимосвязями будут принятые правила приема студентов; требования для получения оценок, дипломов, ученых степеней; бюджеты и финансовые потоки; интриги, слухи, сплетни, и самое главное — то, для чего, собственно, и существует эта система — распространение знаний.

Некоторые взаимосвязи в системе представляют собой физические потоки — жидкость в сосудах дерева или студенты, что передвигаются из одного учебного корпуса в другой. Многие взаимосвязи реализуются через потоки информации — это сигналы, которые направляются к точке принятия решения либо к точке исполнения. Такие взаимосвязи зачастую трудно обнаружить, но если проявить внимание и наблюдательность, их все-таки можно выявить. Студенты могут обмениваться между собой неофициальной информацией о том, какие предметы проще сдавать, и па отой основе выбирать дисциплины для изучения. Потребители решают, какие товары приобретать, ориентируясь на свой или семейный уровень дохода, наличие

сбережений, текущие ставки по кредитам, цены, ранее сделанные покупки, доступность того или иного товара в торговых точках — все это тоже информация. Властям для принятия мер по уменьшению загрязнения воды сначала нужно получить информацию о типах и масштабах этого загрязнения. (Обратите внимание: информация о том, что проблема существует, для принятия мер необходима, но не достаточна — нужны еще данные об имеющихся ресурсах, возможных стимулах и, конечно, последствиях.)

Многие взаимосвязи в системах реализуются через потоки информации. Информация связывает систему в единое целое и во многом определяет ее поведение

Взаимосвязи, представляющие собой информационные потоки, обнаружить трудно, но еще сложнее установить *назначение* или *цель* системы. Назначение или цель системы совсем не обязательно где-то описаны, кем-то заданы или выражены явным образом — разве только самим фактом того, что система функционирует. Лучший способ установить цель системы — понаблюдать какое-то время за ее поведением.

Если лягушка повернулась направо и поймала муху, потом повернулась налево и поймала другую муху, а потом повернулась назад и поймала третью, то цель лягушки вовсе не в том, чтобы вертеться в разные стороны, а в том, чтобы ловить мух. Если правительство декларирует свое стремление к защите окружающей среды, но выделяет на это мало денег или прилагает мало усилий, значит, на самом деле оно преследует совсем другие цели. Настоящие цели выявляют, наблюдая за поведением, а вовсе не анализируя официальные заявления и декларации.

Примечание о терминологии

Понятие «*назначение*» в основном используется для систем, в которых отсутствует человек, в то время как понятие *«цель»* более характерно для систем «человеческих», социальных. Однако жесткого разграничения между ними нет, ведь очень многие системы включают в себя *и* социальные, и несоциапьные составляющие.

Назначение автоматизированной системы отопления — поддерживать в помещениях заданную температуру. Одно из назначений растения — дать семена, чтобы из них выросли новые растения. Одна из целей экономики государства, судя по ее поведению, состоит в том, чтобы расти все больше и больше. Важнейшая цель практически любой системы — обеспечить продолжение собственного существования.

Цели системы совсем необязательно совпадают с целями отдельных людей или какой-либо отдельной части системы. На самом деле, одна из особенностей систем состоит в том, что цели ее отдельных составляющих могут приводить к такому поведению системы, которое не желательно ни для одной из ее частей. И это чревато самыми тяжелыми последствиями. Никто не стремится к тому, чтобы в обществе царили преступность и наркомания, но сопоставьте отдельные цели и последующие действия участников системы, и тогда станет понятен результат:

■ отчаявшиеся люди страстно хотят облегчить психологические страдания;

■ фермеры, наркодельцы и банкиры хотят заработать больше денег;

■ соблюдение законов заботит торговцев наркотиками гораздо меньше, чем полицейских;

■ власти запрещают оборот наркотических веществ, а полиция контролирует исполнение этого запрета;

■ хорошо обеспеченные люди живут по соседству с малоимущими;

* тех, кто не принимает наркотики, гораздо больше интересует собственная безопасность, чем избавление наркоманов от их зависимости.

Вместе взятые, эти факторы приводят к тому, что искоренить в обществе преступность и пристрастие к наркотикам практически невозможно.

Системы могут быть частью других систем. Следовательно, одни цели могут быть вложены в другие цели. Цель университета — открывать новое, сохранять и передавать знания следующим поколениям. Цель отдельного студента — получать хорошие оценки. Цель профессора — получить постоянную должность и бессрочный контракт. Цель администрации — ликвидировать дефицит бюджета. Все эти частные цели могут прийти в противоречие с общей целью, и в результате студенты списывают, профессоров больше заботит количество публикаций, чем уровень знаний у студентов, а администрация сводит концы с концами, увольняя профессоров. Гармония между частными и общими целями — это ключевая характеристика успешных систем. К этой

теме я еще вернусь, когда мы дойдем до изучения иерархии.

Относительную важность элементов, взаимосвязей и целей системы можно установить, если менять их по одному. Как правило, изменение элементов меньше всего влияет на систему. Если заменить в футбольной команде всех игроков на других, это все равно будет футбольная команда. (Конечно, она от этого может начать играть лучше или хуже — отдельные элементы в системе могут быть действительно важными.) Клетки в дереве непрестанно обновляются, листья опадают каждый год или каждый сезон, но оно все равно остается деревом. В организме человека большинство клеток обновляется каждые несколько недель, но тело при этом остается телом. В университете постоянно сменяются поколения студентов, несколько медленнее обновляется состав преподавателей и административный персонал, но университет от этого не перестает быть университетом. Он все тот же, причем имеет какие-то характерные черты, отличающие его от других университетов. Большие корпорации, например, General Motors, сохраняют свою неповторимость на протяжении десятилетий, хотя за это время сменяются работники всех уровней. Палаты Конгресса США сохраняют свои отличительные черты, даже когда полностью обновляется состав их членов. Обычно система остается самой собой и меняется очень медленно (если вообще меняется), несмотря на полное обновление ее элементов — до тех пор, пока сохраняются цели системы и структура взаимосвязей.

А вот если меняются взаимосвязи, то система может претерпеть значительные изменения. Она даже может измениться до неузнаваемости, несмотря на то, что некоторые игроки в команде остались прежними. Измените футбольные правила на баскетбольные, и вы получите совершенно другую игру в мяч. Если вы измените взаимосвязи в дереве — допустим, вместо поглощения углекислого газа и выделения кислорода все будет с точностью до наоборот — то дерево перестанет быть деревом (теперь это будет животное). Если в университетах студенты станут выставлять оценки профессорам, а в дискуссиях будет побеждать не разумная аргументация, а грубая сила, это заведение будет называться совершенно иначе. Не исключено, что такая организация будет представлять академический интерес, но что университетом она не будет — это точно. Изменение взаимосвязей может в корне изменить систему.

Наименее явная часть системы — ее назначение или цель — оказывает определяющее влияние на поведение системы.

Изменение назначения или цели тоже может оказаться решающим. Оставьте в команде тех же игроков и сохраните правила, но измените цель: не выиграть, а проиграть. Есть разница, не так ли? Представьте, что будет, если назначением дерева станет не выживание и воспроизведение себе подобных, а поглощение из почвы всех питательных веществ и рост до бесконечности. Для университетов люди придумали массу других целей помимо распространения знаний: зарабатывать деньги, проводить идеологическую обработку, выигрывать студенческие спортивные соревнования. Изменение цели может полностью преобразовать систему, даже если все ее элементы и взаимосвязи остались на месте.

Вопрос «Что важнее в системе — элементы, взаимосвязи или цели?» некорректен. В ней все важно. Все влияет на все. У каждой составляющей своя роль. Но зачастую наименее явная часть системы — ее назначение или цель — имеет решающее значение для поведения системы, определяет, каким оно будет. Взаимосвязи тоже критически важны. Изменение взаимных влияний обычно меняет поведение системы. А вот элементы — те части системы, которые нам проще всего заметить, — чаще всего (хотя и не всегда) оказывают наименьшее влияние на отличительные черты системы. Но только в том случае, если *изменение элемента не приводит к изменению взаимосвязей или цели.*

Замените одного лидера государства на другого — Брежнева на Горбачева или Картера на Рейгана — и развитие страны может пойти в другом направлении, хотя все ее земли, заводы и сотни миллионов жителей останутся прежними. А может и не пойти. Глава государства может заставить те же самые земли, заводы и население «играть по новым правилам» или поставить совершенно новые цели.

Но есть и еще одно соображение: из-за того, что земли, заводы и население имеют долгий срок жизни, изменяются медленно (это физические элементы системы), существует определенный предел в скорости изменений в стране, которых может добиться глава государства.

Задачи про трубы и бассейны: понимание поведения системы во времени

Информация, содержащаяся в природе, … позволяет нам

частично реконструировать прошлое…

Меандры, образуемые реками, возрастающая сложность земной коры… — все это хранит в себе информацию так же, как это делают генетические системы…

Сохранение информации означает, что механизм становится все сложнее.

Рамон Маргалеф[9]

Запасы[10] — это основа любой системы. **Те** элементы в системе, которые можно увидеть, ощутить, количественно оценить или непосредственно измерить в любой момент времени, присутствуют в системе в виде запасов. Запас (или **уровень)** — это то, что имеется в определенном количестве, накоплено за какой-то период времени, запасено в материальной форме или в виде информации. Это может быть уровень воды **в** бассейне, численность населения, количество книг в книжном магазине, объем древесины, содержащейся в дереве, сумма на счете в банке или даже уровень вашей уверенности в себе. Запас не обязательно имеет физическое воплощение. Ваша доброжелательность по отношению к окружающим и уверенность в том, что мир может стать лучше, тоже могут быть своеобразными уровнями.

Запасы и уровни отражают хронологию изменений потоков в системе.

Уровни меняются во времени в результате работы потоков. Потоки могут быть входящими (увеличивающими уровень) или исходящими (понижающими уровень). Рождаемость и смертность, закупки и продажи, рост и разложение, вложение денег в банк и отзыв вклада, ряд успехов и череда неудач — все это потоки. А запас или уровень отображают собой хронологию изменений этих потоков в системе.

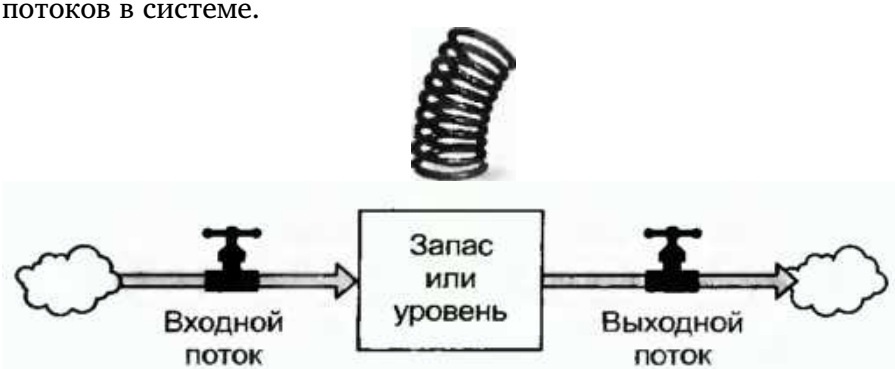


Рис. 1. Как читать потоковые диаграммы.

В этой книге запасы или уровни изображаются прямоугольниками, а потоки — «трубопроводами» со стрелками, ведущими к прямоугольнику или из него. На каждом трубопроводе изображен «вентиль», который можно

либо открывать больше или меньше, регулируя поток, либо держать в полностью открытом или полностью закрытом состоянии. «Облака» в начале и конце схемы символизируют источник и сток соответствующего потока, их физический смысл нам не важен

Залежи полезных ископаемых — пример запаса. Из него исходит поток руды, получаемой в результате разработки месторождения. Поток, пополняющий запасы руды в месторождении, пренебрежимо мал, поскольку накопление ископаемых требует многих миллионов лет. Схема на рис. 2 учитывает это, в ней входного потока уже нет. *Абсолютно все* системные диаграммы и схемы используют упрощенное представление реального мира.

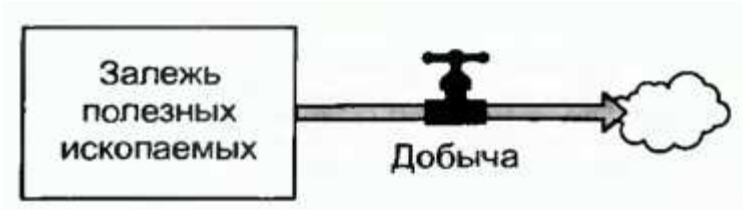


Рис. 2. Месторождение постепенно истощается в результате добычи полезных ископаемых

Вода в водохранилище тоже представляет собой запас и характеризуется уровнем. Он поднимается в результате дождей и за счет стока рек, понижается из-за испарения воды с поверхности и из-за водосброса через плотину.

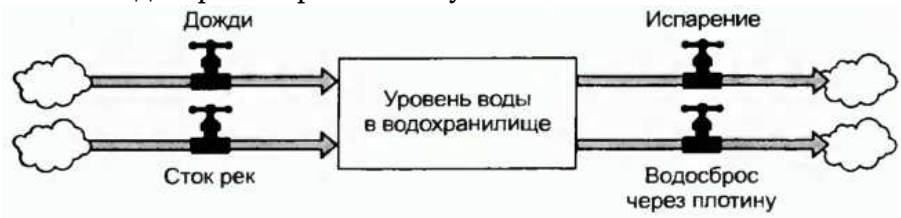


Рис. 3. Уровень воды в водохранилище с несколькими входными и выходными потоками

Количество древесинв**1** в лесу — это тоже запас. Входной поток — это рост дереввев. Вв**1**ходные потоки — гибелв деревьев в резулвтате естественных причин и рубок, которые производят лесозаготовители. Срубленные дереввя становятся другим запасом, например, стройматериалами на лесопилке. В свою очередв, из него исходит поток пиломатериалов, проданнв!х потребителям.

Рис. 4. Запас древесины в лесу и связанный с ним запас пиломатериалов

Если вы понимаете динамику запасов и потоков — то есть их поведение во времени — тогда вы имеете достаточное представление о поведении сложных систем. Если в детстве вы решали математические задачи про воду, втекающую и вытекающую из бассейна или ванны, значит, понимание динамики запасов и потоков у вас уже есть.

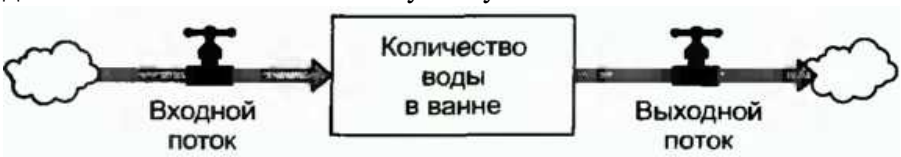


Рис. 5. Простейшая схема ванны: один запас, один входной и один выходной потоки

Представьте себе ванну, наполненную водой. Сливное отверстие заткнуто, оба крана закрыты. Скучная, статичная, неизменная система. А теперь мысленно откройте сливное отверстие. Разумеется, вода начнет вытекать из ванны. Уровень начнет понижаться, пока не станет нулевым, когда ванна опустеет.

Рис. 6. Изменение объема воды в ванне при открытом сливе

Теперь снова представьте себе ванну, полную воды, снова откройте слив, но на этот раз в тот момент, когда ванна уже опустеет наполовину, откройте краны, чтобы количество поступающей воды было равно количеству вытекающей. Что произойдет дальше?

Количество воды в ванне стабилизируется на уровне, который был в тот момент, когда входной поток сравнялся с выходным. Установится динамическое равновесие, при котором уровень не меняется, хотя вода непрерывно течет, поступая в ванну и вытекая из нее через сливное отверстие.

Теперь представьте себе, что вы открыли краны сильнее, и в ванну поступает больше воды, чем вытекает из нее. Уровень воды начнет постепенно расти. Если вы прикроете кран настолько, чтобы потоки поступающей и вытекающей воды снова сравнялись, то уровень перестанет подниматься и опять стабилизируется. Если вы еще сильнее прикроете кран, уровень опять начнет снижаться.

Как читать графики поведения системы во времени

Чтобы понимать, как ведет себя система, системные мыслители используют графики изменения тех или иных параметров во времени — так можно получить больше информации, чем при анализе отдельных событий. Графики

поведения во времени используются еще и для того, чтобы определить, приближается ли система к цели или пределу, и если да, то насколько быстро.

По вертикальной оси может откладываться величина, характеризующая запас или поток. Форма графика очень показательна; значение имеют также точки, в которых происходит изменение направления или формы кривой. В большинстве случаев форма несет в себе больше информации, чем конкретные значения, отложенные по осям.

Горизонтальная ось, по которой отсчитывается время, позволяет понять, что происходило раньше и что произойдет потом. В зависимости от того, какой вопрос или проблему вы изучаете, можно сосредотачиваться на том или ином временном диапазоне.

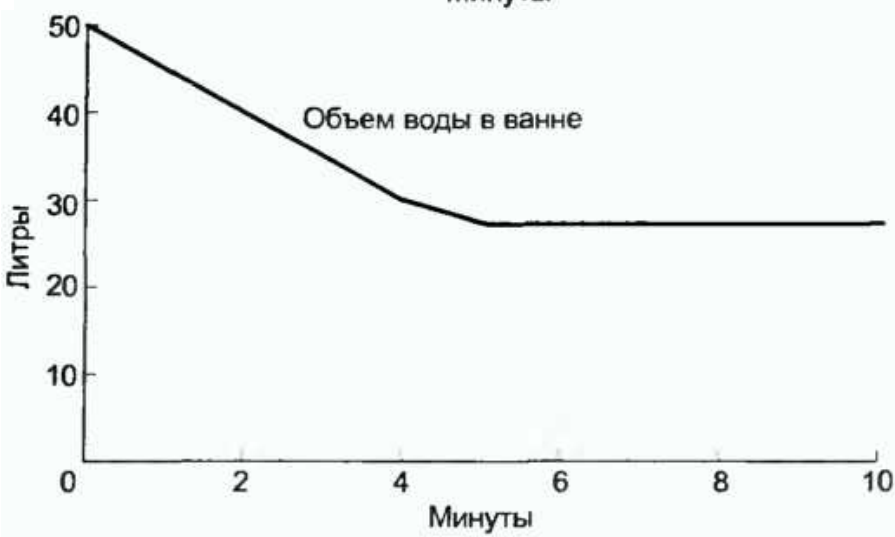


Рис. 7. Выходной поток не изменяется, входной поток появляется на пятой минуте, и в результате объем воды в ванне стабилизируется

Ванна с поступающей и вытекающей водой — это пример очень простой системы, в которой только один входной и только один выходной поток. В тот временной период, что представляет для нас интерес, испарение мы можем считать пренебрежимо малым, так что его в диаграмму включать не нужно. Все модели, мысленные ли они или математические, всегда представляют собой упрощение реального мира. Но изучив динамику на примере простой ванны, можно сделать несколько важных выводов, спра ведливых и для более сложных систем:

■ Если сумма всех входных потоков превышает сумму всех выходных потоков, уровень или объем запаса будет расти.

■ Если сумма всех выходных потоков превышает сумму всех входных потоков, уровень или объем запаса будет уменьшаться.

* Если сумма всех выходных потоков равна сумме всех входных потоков, уровень или объем запаса будет неизменным; в таких случаях устанавливается динамическое равновесие на уровне, который наблюдался в тот момент, когда потоки сравнялись.

Людям свойственно обращать внимание в первую очередь на запасы, а не на потоки. А если уж мы обращаем внимание на потоки, то в первую очередь на входящие, и лишь затем на выходящие. Именно поэтому мы порой упускаем из виду, что уровень воды в ванне можно поднять не только увеличением входного потока, но и уменьшением выходного. Все хорошо понимают, что для продления существования нефтяной экономики необходимо открывать новые месторождения нефти, но далеко не все отдают себе отчет в том, что того же можно добиться, просто сжигая меньше нефти. Резкое увеличение энергоэффективности по отношению к доступным запасам нефти эквивалентно открытию нового месторождения — хотя прибыль при этом распределяется несколько иначе.

Запасы можно увеличивать как за счет роста потоков на входе, так и за счет уменьшения потоков на выходе. Поднимать уровень воды в ванне можно разными способами...

Подобным образом компании могут поддерживать большой штат сотрудников: ттибо нанимать больше новых работников,

либо принимать меры, чтобы не уходили прежние (и чтобы их не за что было увольнять). Причем стоимость этих двух стратегий может очень сильно отличаться. Благосостояние страны можно резко увеличить, вложив средства в постройку новых заводов и установку нового оборудования. А можно уменьшить скорость, с которой изнашивается и выходит из строя имеющееся оборудование, и достичь того же результата, причем зачастую меньшими средствами.

В ванне легко полностью открыть или перекрыть потоки; вытащить пробку или открутить кран — дело нескольких секунд. Гораздо сложнее быстро изменить уровень воды — величину запаса. Даже если полностью открыть слив, спуск воды займет какое-то время. И наполнить ванну во мгновение ока тоже не получится, даже если вы полностью открутите оба крана. *Изменение запасов и уровней требует времени. Чтобы был эффект, потоки должны действовать некоторое время.* Это ключ к пониманию поведения систем. Запасы и уровни обычно изменяются медленно, и это можно расценивать как запаздывание, отсрочку, инертность системы, своего рода буфер или фактор устойчивости. Запасы, особенно большие, откликаются на изменения (даже очень резкие) лишь постепенным увеличением или уменьшением.

Запасы обычно изменяются медленно, даже если входные и выходные потоки меняются очень резко. **Это приводит к возникновению запаздываний и служит в системе своего рода буфером, смягчающим внешние воздействия.**

Люди часто недооценивают момент инерции, присущий запасам. Чтобы население увеличилось (или наоборот, перестало расти), нужно очень много времени. Так же мед-ленно в лесу растут запасы древесины, в водохранилище поднимается уровень воды, а в шахтах истощаются запасы полезных ископаемых. Экономика не может за один день увеличить производящие, транспортные и энергетические мощности, даже если вложить огромные средства. Поскольку в экономике уже присутствует огромное количество автомобильных двигателей и промышленных установок на нефтяном топливе, их невозможно быстро перенастроить на другой вид топлива, даже если цена на нефть резко подскочит. Накопление в стратосфере загрязнителей, разрушающих озоновый слой, происходило десятилетиями, а теперь многие десятилетия уйдут на то, чтобы стратосфера от них

избавилась.

Изменения запасов определяют, насколько динамичной будет система. Индустриализация не может идти быстрее, чем строятся заводы и создается новое оборудование, и быстрее, чем обучается персонал для работы на них и для технического обслуживания. Леса не вырастают за одну ночь. Если загрязнители проникли в грунтовые воды, то очищение произойдет не раньше, чем пройдет полное обновление подземных вод — а это займет десятки и даже сотни лет.

Запаздывания, вызываемые в системах медленным изменением запасов, могут приводить к проблемам, но могут и способствовать стабильности системы. Плодородные почвы, накопленные за столетия, не могут подвергнуться моментальной эрозии. Население, обученное многим профессиям и имеющее разнообразные навыки, не может разом все позабыть. Можно выкачивать грунтовые воды быстрее, чем они возобновляются, но истощение водоносного горизонта произойдет не за один день. Запаздывания, объясняемые медленным изменением запасов, оставляют нам достаточно времени для маневра, чтобы мы могли найти решение и сменить стратегию на более действенную.

Если вы имеете представление о скорости изменения запасов, то не будете ожидать быстрых подвижек там, где они в принципе не могут быть быстрыми. И не станете

раньше времени бросать начатое. Момент инерции в поведении системы можно использовать для достижения поставленной цели точно так же, как мастера восточных единоборств используют момент движения противника, чтобы победить его.

Запасы выполняют еще одну очень важную функцию в системе, и она приведет нас прямиком к понятию обратной связи. Наличие запасов позволяет входным и выходным потокам существовать независимо. Какое-то время система может позволить этим потокам не уравновешивать друг друга.

Нефтяной компанией было бы практически невозможно управлять, если бы производить бензин на нефтеперегонных заводах надо было точно с той скоростью, с которой автомобили его расходуют. Сложно себе представить лесозаготовки, которые ведутся с абсолютно такой же скоростью, с которой растет лес. Бензин в хранилищах и древесина в лесу — это запасы, позволяющие идти всему своим чередом, обеспечивающие размеренную жизнь даже в том случае, если какие-то потоки на какое-то время меняются.

Запасы позволяют входным и выходным потокам не зависеть друг от друга и не уравновешиваться в течение какого-

то времени.

Люди придумали огромное количество способов поддерживать самые разные запасы, чтобы сделать входные и выходные потоки не зависимыми друг от друга и тем обеспечить стабильность. Водохранилища позволяют местным жителям и фермерам, живущим ниже по течению, жить без оглядки на капризы реки, не опасаясь очередной засухи или наводнения. Банковские накопления позволяют вам какое-то время тратить деньги не с той же скоростью, с которой вы их зарабатываете. Запасы продукции на складах позволяют работать без перебоев цепочке от дистри-

бьютора к оптовику, а затем к розничному торговцу, даже если спрос на продукцию постоянно меняется. Заказы клиентов успешно выполняются, несмотря на то, что скорость производства продукции может не совпадать со скоростью ее потребления.

Большинство решений, принимаемых частными или должностными лицами, сводится к тому, чтобы регулировать уровень запасов. Если склады ломятся от товаров, то приходится снижать цены или увеличивать затраты на рекламу, чтобы поднять продажи и избавиться от затоваривания. Если ваш холодильник пустеет, вы отправляетесь в магазин за покупками. В зависимости от того, что происходит с посевами зерновых, фермеры решают, прибегнуть ли к искусственному орошению и применить ли пестициды; зерновые компании определяют, сколько зерна они будут закупать в этом году; перекупщики прикидывают цены на будущий урожай; животноводы увеличивают или уменьшают поголовье скота. За уровнем воды в водохранилище всегда следят и не дают ему подняться слишком высоко или опуститься слишком низко. Нефтяные компании точно так же отслеживают балансовые запасы нефти в хранилищах. Бумажные производства регулируют запасы сырья для изготовления бумаги. Вы сами поступаете точно так же, когда проверяете, достаточно ли денег в кошельке, и по тому же принципу контролируется концентрация загрязнителей в водоемах.

Величину запасов отслеживают постоянно, и на основе этих данных принимают решения и меры по увеличению или уменьшению запасов или по поддержанию их в определенных пределах. Эти решения принимаются в соответствии с приходами и расходами, успехами и провалами, и так происходит во всех системах. Специалисты по динамике систем представляют себе мир как совокупность запасов с механизмами, которые регулируют их уровень за счет управления потоками.

Системные мыслители рассматривают мир как совокупность

обратных связей.

Как система влияет сама на себя: механизм обратной связи

Системы, контролируемые информационной обратной связью, лежат в основе всех человеческих действий

и самого существования человечества, начиная с медленных эволюционных изменений и заканчивая запуском спутников в космическое пространство...

Что бы ни делали отдельные люди, промышленные предприятия или общество в целом — все так или иначе связано с системами, имеющими информационную обратную связь.

Джей Форрестер[11]

Если величина запаса стремительно увеличивается, быстро уменьшается или удерживается в определенных рамках независимо от того, что происходит вокруг, значит, в системе действует какой-то управляющий механизм. Другими словами, если вы наблюдаете какой-то тип поведения в течение некоторого времени, вы с полным на то основанием можете заключить, что в основе этого типа поведения лежит определенный механизм. Реализуется он через **цикл (петлю) обратной связи.** Демонстрация определенного типа поведения в течение продолжительного времени — первый признак того, что в системе присутствует обратная связь.

В системе точно присутствует цикл обратной связи, если изменение уровня запаса влияет на входные или выходные потоки, ведущие к запасу или исходящие из него. Обратная связь может быть явной и достаточно простой. Для примера можно привести накопительный вклад в банке. Суммарное количество денег на счете (запас) влияет на то, сколько денег будет начислено в качестве процентов и приплюсовано к вкладу. Именно поэтому начисление банковских процентов производится с определенной периодичностью (не реже раза в год). Суммы, начисленные в виде процентов (входной поток) не будут постоянными; они меняются в зависимости от того, какая сумма уже есть на счете.

Другой вариант простой обратной связи можно наблюдать, если у вас есть текущий банковский счет, на который вам перечисляют зарплату. Если при ежемесячной проверке счета вы заметили, что сумма на нем (запас) слишком уменьшилась, вы можете взять сверхурочную работу или подработку, чтобы получить больше денег. Деньги, перечисляемые на счет, — это входной поток, и вы его регулируете для того, чтобы довести

сумму на счете до желаемого уровня. Если в результате ваших действий сумма существенно увеличилась, вы можете счесть, что пора расслабиться и работать поменьше, и таким образом уменьшите входной поток. Такой тип обратной связи позволяет контролировать сумму на счете и поддерживать ее в желаемых границах. Вы можете сказать, что увеличение или уменьшение доходов — не единственный цикл обратной связи, влияющий на сумму на счете. И будете правы: можно манипулировать еще и снимаемыми со счета средствами — то есть существует еще и цикл обратной связи, регулирующий исходящий поток.

Циклы обратной связи могут удерживать уровень запаса в определенных пределах, заставлять его расти или уменьшаться. В любом случае потоки, ведущие к запасу или исходящие из него, меняются в зависимости от величины самого запаса. Что-то или кто-то, отслеживающий уровень запаса, принимает меры и изменяет величину входного и/или выходного потока, что приводит к определенному изменению уровня запаса. Уровень запаса управляется обратной связью, которая строится на последовательности сигналов и действий, позволяя запасу влиять на свою же величину.

Не во всех системах есть циклы обратной связи. Некоторые (немногочисленные) системы представляют собой отно-

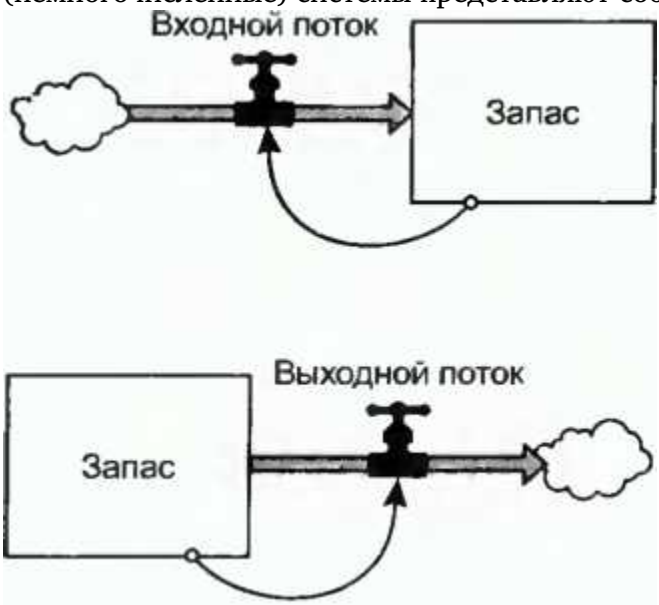


Рис. 8. Как читать потоковые диаграммы с обратными связями.

На каждой диаграмме такого типа присутствуют: запас; поток, изменяющий величину запаса; информационная связь (показана дугообразной стрелкой), управляющая действием.

Она либо усиливает действие, либо изменяет его за счет регулирования потоков

сительно простые последовательности запасов и потоков, не образующие замкнутый контур. На такую последовательность могут влиять внешние факторы, однако величины запасов никак не влияют на относящиеся к ним потоки. А вот системы, содержащие циклы обратной связи, встречаются достаточно часто. Они могут иметь интересную структуру и, как мы увидим дальше, порой демонстрируют довольно неожиданное поведение.

Цикл (петля) обратной связи представляет собой цепочку причинно-следственных связей, исходящую из запаса и возвращающуюся к нему же. Связи реализуются через набор решений, правил, физических законов или действий, зависящих от величины самого запаса. Изменение запаса вызывает изменение потока, в свою очередь, вызывающее дальнейшее изменение запаса, и т. д.

Стабилизирующие петли: балансирующий цикл обратной связи

Один из широко распространенных типов обратных связей стабилизирует величину запаса на определенном уровне — так, как это было в примере с текущим банковским счетом. Уровень запаса может поддерживаться не совсем неизменным, а просто оставаться в каких-то границах. Приведенные дальше другие примеры стабилизирующих циклов обратной связи наверняка вам знакомы. На них мы сможем изучить отдельные составляющие петель обратной связи.

Если вы часто пьете кофе, то вам знакомо такое поведение: когда человек ощущает упадок сил, он наливает себе чашечку крепкого черного кофе, чтобы взбодриться. Любитель кофе ориентируется на желаемое количество энергии для работы — это желаемая величина запаса. Задача такой системы доставки/потребления кофеина — поддерживать текущий запас энергии на желаемом уровне или близко к нему. Разность между текущим и желаемым

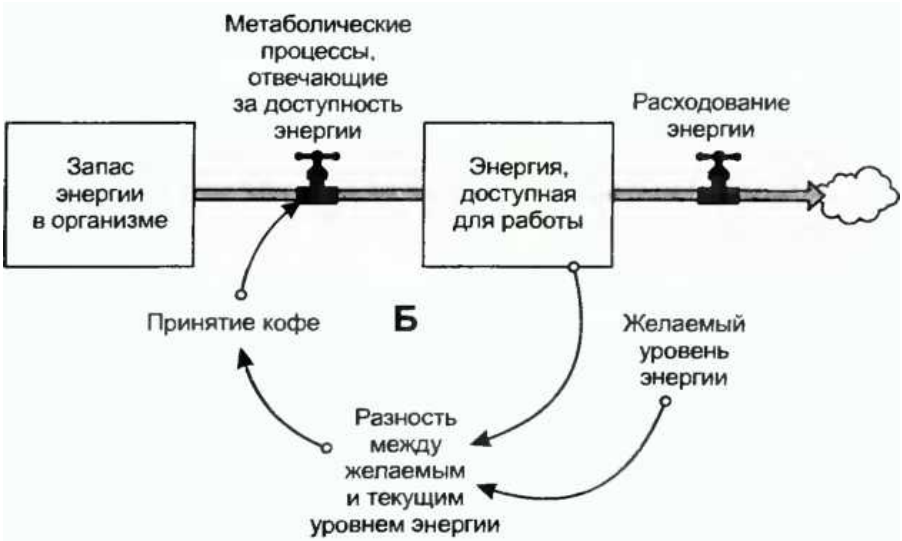


Рис. 9. Запасы энергии в организме любителя кофе

уровнем энергии и заставляет вас действовать, чтобы принять очередную порции кофеина. (Кроме того, у вас могут быть и другие причины, чтобы пить кофе: может, вам просто нравится его вкус или доставляет удовольствие выпить кофейку в хорошей компании.)

Обратите внимание: все подписи на рис. 9, как и на других потоковых диаграммах в этой книге, не содержат в себе оценки «больше/меньше». «Запас энергии в организме» — это именно сама величина запаса, а не утверждение, что «энергии *слишком мало*». «Принятие кофе» не означает «выпить *больше* кофе». Подписи сформулированы именно так потому, что многие циклы обратной связи способны работать в обоих направлениях. В нашем примере с любителем кофе петля обратной связи может скорректировать как недостаточное потребление кофеина, так и избыточное. Если вы выпьете слишком много кофе, то ощутите переизбыток сил, они будут так и распирать вас, поэтому прием кофеина захочется на некоторое время прекратить. Избыток энергии тоже создает разницу между текущим и желаемым запасом энергии (ощущение «перебора»), поэтому вы воздержитесь от употребления кофе до тех пор, пока уровень энергии не уменьшится. Диаграмма показывает, что петля обратной связи может изменять уровень энергии в любую сторону — как увеличения, так и уменьшения.

Можно было бы показать входной поток энергии проистекающим из символа «облака», но вместо этого лучше чуть-чуть усложнить диаграмму. *Помните, все системные диаграммы — это упрощенные представления реального мира.* Мы сами

выбираем масштабы этого упрощения. В данном случае лучше указать еще один запас — то количество энергии, что запасено в организме и может быть активировано с помощью кофеина. Это нужно для того, чтобы показать, что система — это не только петля обратной связи. Как известно всем любителям кофе, действие кофеина непродолжительно. Образно говоря, кофе может заставить мотор крутиться быстрее, но при этом запас топлива в баке не увеличивается. Довольно быстро стимулирующее действие кофе ослабевает, и организм в результате испытывает еще больший дефицит энергии, чем до принятия кофеина. Появившаяся вновь разница между желаемым и имеющимся уровнем энергии заставит вас опять отправиться за кофейником. (Можете также посмотреть на систему, описывающую наркотическую зависимость, — она приводится дальше в этой книге.) Будет гораздо лучше, если вместо очередной чашки кофе вы прибегнете к какому-нибудь другому способу обрести энергию, более действенному и полезному для здоровья: пойдете поесть, отправитесь прогуляться, как следует выспитесь...

Петли обратной связи, стабилизирующие запас на ка-ком-то уровне, позволяющие его регулировать и достигать желаемого значения, называются балансирующими циклами обратной связи. Внутри такого цикла на диаграмме ставится буква **«Б».** Балансирующие циклы *стремятся к достижению какого-то значения, к стабилизации.* Каждый такой цикл старается удержать запас на каком-то уровне или в каких-то пределах. Балансирующий цикл противодействует любому внешнему воздействию на систему. Если запас слишком велик, балансирующий цикл постарается уменьшить его. Если запас слишком мал, балансирующий цикл будет стремиться увеличить его.

А вот еще один пример, в котором присутствует кофе, — только на этот раз речь пойдет не о принятии решения человеком, а о действии законов физики. Горячая кружка кофе постепенно остывает до комнатной температуры. Скорость остывания зависит от разности между температурой кофе и комнатной температурой. Чем больше разность, тем выше скорость остывания. Петля обратной связи работает и в другом направлении: если вы приготовите кофе со льдом в жаркий день, он будет нагреваться, пока его температура не сравняется с комнатной. Цель этой системы — привести к нулю разность между температурой кофе и температурой в помещении, и неважно, какой знак имеет эта разность.

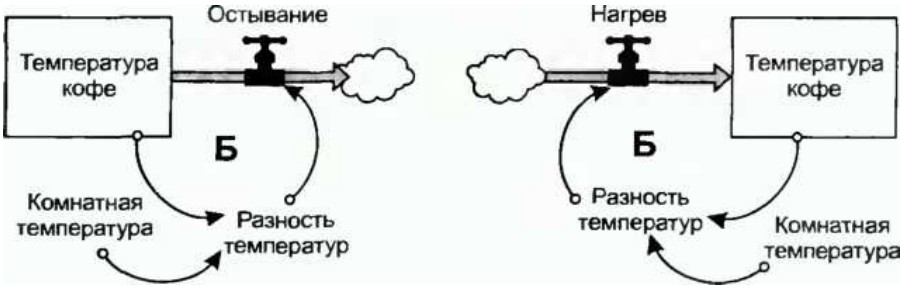


Рис. 10. Остывание *(слева)* и нагревание (*справа*) кружки с кофе

На рис. 11 показано, как меняется температура во времени, если кофе той или иной температуры приготовили, налили в кружку, но не стали пить. В примере рассматривается и горячий (даже почти кипящий) кофе, и кофе со льдом. Видно, как все кривые стремятся к одной и той же итоговой температуре — это и есть результат работы балансирующего цикла. Каким бы ни было начальное значение запаса в системе (в данном случае температура кофе), больше ли оно желаемого или меньше (выше или ниже температура, чем комнатная), балансирующий цикл обратной

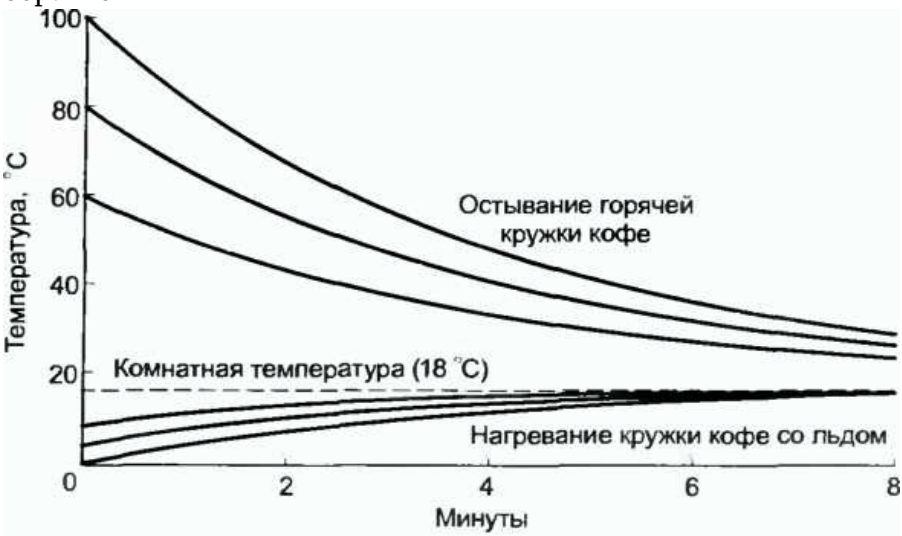


Рис. 11. Приближение температуры кофе к комнатной температуре

связи приведет его к желаемому уровню. Скорость изменений в начале процесса выше, и она становится тем меньше, чем меньше разность между текущим и желаемым значением запаса.

Балансирующие циклы обратной связи служат выравнивающими структурами в системе, позволяют достичь

желаемого значения, выполняют функции одновременно источника стабильности и противодействия изменениям.

Такой тип поведения — постепенное приближение к цели, определенной системой, — демонстрируется и во многих других случаях: радиоактивный распад, самонаведение ракет и снарядов, обесценивание активов, регулирование уровня воды в водохранилище, колебания уровня сахара в крови, торможение машины на запрещающий сигнал светофора... Вы сами можете придумать массу примеров. В мире присутствует огромное количество систем с балансирующими циклами обратной связи, которые стремятся достичь каких-то конкретных значений.

Присутствие в системе механизма обратной связи совсем не обязательно означает, что это механизм работает *эффективно.* Механизмы обратных связей могут быть недостаточно сильны для того, чтобы привести запас к желаемому уровню. Обратные связи — взаимные влияния, информационные составляющие системы — могут давать сбой по самым разным причинам. Информация может поступать слишком поздно или не туда, куда нужно. Она может быть неверно понята, может оказаться неполной, ее могут интерпретировать неправильно. Меры, принимаемые на основе этой информации, могут оказаться недостаточными и запоздалыми. Они могут ограничиваться имеющимися ресурсами или просто быть неэффективными. Вполне может статься, что цель цикла обратной связи — конкретное значение запаса — вообще никогда не будет

достигнута. Но в том, что касается кружки с кофе, можете быть уверены: сс температура в кииде концов сравняется с комнатной.

Петли, приводящие к выходу за пределы: усиливающий цикл обратной связи

Мне бы нужно отдохнуть, чтобы восстановить ясность мышления; но чтобы отдохнуть, нужно путешествовать, а чтобы путешествовать, надо иметь деньги, а чтобы иметь деньги, надо работать... Я попал в порочный круг... и вырваться из него невозможно.

Оноре де Бальзак[12]

Здесь мы сталкиваемся с очень важным явлением.

Рассуждения словно замкнулись в круг: прибыли упали, потому что уменьшились капиталовложения, а капиталовложения уменьшились, потому что упали прибыли.

Ян Тинберген[13], экономист

Второй тип циклов обратной связи — это петли, усиливающие сами себя, раскручивающие систему все сильнее, подобно тому, как растет снежный ком. Это порочный или добродетельный круг, который в итоге может либо вызвать разрушение системы, либо обеспечить здоровый рост. Такие петли называют усиливающими циклами обратной связи, и внутри диаграмм, описывающих такие системы,

ставится буква «У». Такие циклы создают тем больший входной поток, чем больше величина запаса (и тем меньший поток, чем меньше запас). Усиливающий цикл обратной связи придает системе дополнительное движение в том же направлении, что и внешнее воздействие — то есть усиливает его.

Например:

■ Всем знакома ситуация, когда дерутся дети: один толкнул другого, тот толкнул в ответ сильнее, поэтому первый толкнул еще сильнее, и т. д.

■ Чем выше цены, тем больше должна быть зарплата для поддержания прежнего уровня жизни. Чем больше зарплата, тем больше увеличиваются цены, чтобы обеспечить прибыльность, необходимую для выплаты зарплат. Раз цены опять выросли, приходится снова поднимать зарплаты, что приводит к дальнейшему росту цен.

■ Чем больше кроликов на ферме, тем больше родится крольчат. Чем больше крольчат, тем больше из них вырастет кроликов, которые произведут на свет еще больше крольчат.

■ Чем больше почва подвергается эрозии, тем меньше растений произрастает на ней и тем меньше становится корней, закрепляющих почву, поэтому почва разрушается еще сильнее, и на ней остается еще меньше растений.

■ Чем больше часов я упражняюсь за роялем, тем большее наслаждение мне доставляют звуки, поэтому я еще больше времени посвящаю занятиям музыкой, и тем лучше играю.

Усиливающие циклы появляются в системах всякий раз, когда встречается какой-либо элемент, способный воспроизводить сам себя или какую-то свою часть. В число та-

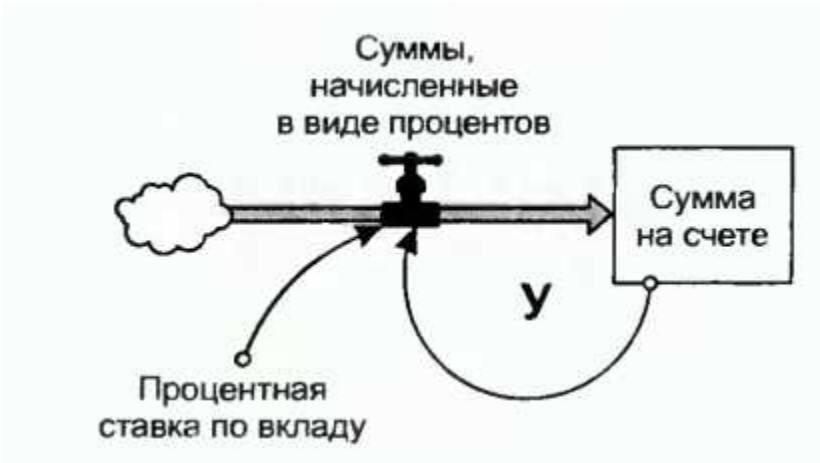


Рис. 12. Начисление процентов по накопительному вкладу в банке

ких элементов входят численность населения и величина капитала в экономике. Вспомните пример с накопительным вкладом в банке. Чем больше денег у вас на счете, тем больше денег вам начисляется в виде процентов. Они приплюсовываются к сумме на счете, и в следующий раз доходы будут еще выше.

На рис. 13 показано, как растет сумма на счете в результате работы усиливающего цикла обратной связи. Начальная сумма — 100 долларов, срок вклада — 12 лет, дополни-

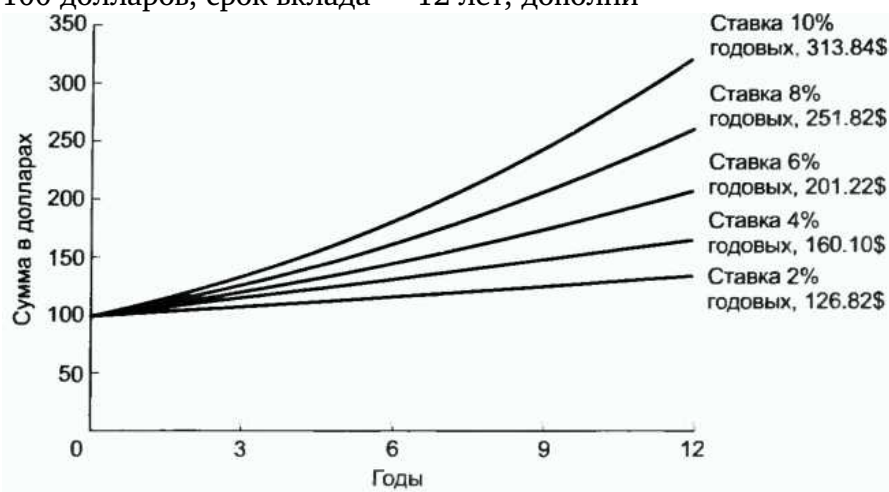


Рис. 13. Рост суммы на счете в зависимости от величины процентной ставки

тельные взносы не производятся, начисляемые проценты приплюсовываются к сумме вклада (капитализируются). Пять кривых соответствуют пяти различным процентным ставкам по

вкладу: от 2 до 10% годовых.

Это не простой линейный рост. Величина прироста не постоянна, а изменяется с течением времени. График увеличения суммы на счете может показаться прямой линией, если процентная ставка мала, но только в первые несколько лет. С годами рост будет идти все быстрее и быстрее — чем больше на счете, тем больше добавится. Такой тип роста называется экспоненциальным. Вреден он или полезен — зависит от того, что именно увеличивается: накопления в банке, количество больных СПИДом или носителей ВИЧ, популяция саранчи в поле, благосостояние населения или количество оружия в результате гонки вооружений.

На рис. 14 описано поведение тяжелой промышленности: чем больше у вас оборудования и заводов (вместе называемых «промышленным капиталом»), тем больше продукции и услуг вы можете произвести (объем производства за год). Чем больше объем производства, тем больше можно инвестировать в производство нового оборудования и заводов. Чем больше вы производите, тем больше можете вложить, чтобы произвести еще больше. Усиливающий цикл обратной связи — основная движущая сила, отвечающая за рост экономики.

Усиливающие циклы обратной связи раскручивают сами себя, приводя к экспоненциальному росту или даже выходу системы за пределы. Они встречаются в системах всякий раз, когда какой-либо запас обладает способностью воспроизводить себя или какую-то свою часть.

Теперь вы уже можете себе представить, какое значение имеют балансирующие и усиливающие циклы обратной

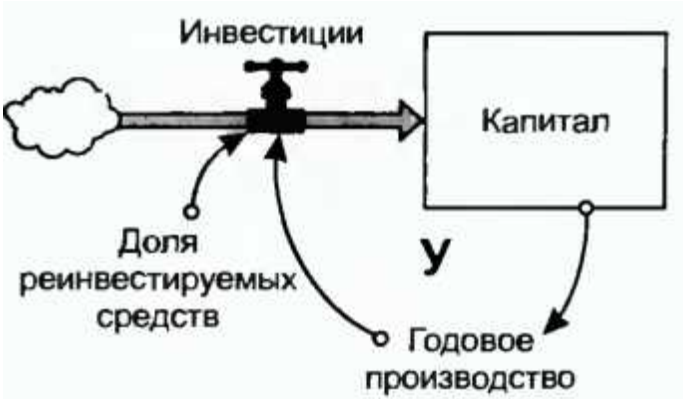


Рис. 14. Реинвестирование капитала

связи, ответственные за поведение систем. Иногда я предлагаю своим студентам вообразить, *как* люди принимали бы решения, не будь обратных связей. Какими были бы эти решения, если они вообще никак не соотносились с величиной запаса? Задумайтесь над этим. Чем больше вы будете размышлять на эту тему, тем больше циклов обратной связи вы обнаружите — они повсюду.

В качестве примера решений, не основанных на обратной связи, студенты чаще всего приводят влюбленность и попытки самоубийства. Предоставлю вам самим решить, действительно ли подобные решения принимаются без влияния обратных связей.

Несколько слов об усиливающих циклах и времени удвоения

Усиливающие обратные связи встречаются очень часто, поэтому полезно знать одну их характерную особенность: время удвоения — время, необходимое экспоненциальному росту для того, чтобы удвоить величину запаса, — приблизительно равно отношению 70 к скорости роста, выраженной в процентах.

Пример: если вы положили в банк 100 долларов под 7% годовых, то сумма увеличится вдвое через 10 лет (70:7 = 10). Если банковская ставка всего 5%, то для удвоения суммы на счете потребуется 14 лет.

Будьте начеку! Если вы начнете везде замечать действие обратных связей, значит, вы превращаетесь в системного мыслителя. Вместо того, чтобы замечать, только как А вызывает Б, вы начнете задумываться, а нет ли еще и влияния Б на А, и не усиливает ли (или ослабляет) А самое себя. И когда по радио передадут, что Федеральный резервный банк принимает какие-то меры, чтобы регулировать экономику, вы сразу сделаете вывод, что и экономика как-то повлияла на Федеральный резервный банк. И когда кто-то скажет вам, что рост населения вызывает распространение нищеты, вы зададитесь вопросом «Не может ли нищета приводить к росту численности населения?»

Поразмыслите над этим

Если А служит причиной Б, возможно ли, что и Б, в свою очередь, тоже вызывает А?

Теперь вы будете представлять себе мир не как статичную структуру, а как динамическую, подверженную изменениям систему. Вместо того, чтобы искать виноватых, вы спросите себя:

«Какова эта система?» Понятие обратной связи приводит нас к осознанию того, что система может быть причиной своего собственного поведения.

До сего момента мы рассматривали только простые системы с одним-единственным циклом обратной связи. Разумеется, в реальных системах обратные связи крайне редко встречаются поодиночке. Они связаны друг с другом и иногда составляют невообразимо сложную сеть. Один запас или уровень может участвовать в нескольких усиливающих и балансирующих циклах обратной связи, действующих в разных направлениях и с разной силой. На один поток могут влиять три, пять, да хоть двадцать запасов! При этом один запас может увеличиваться, другой истощаться, и в результате это приводит к изменению третьего. Разные обратные связи могут тянуть систему в разных на-

направлениях, бороться друг с другом, пытаться увеличивать запасы или сводить их к нулю. Обратные связи могут и уравновешивать друг друга. Сложные системы в итоге демонстрируют гораздо больше вариантов поведения, чем экспоненциальный рост, постепенное приближение к какому-то значению или статичное состояние. Что это за варианты, вы увидите в следующей главе.

2

ГЛАВА

Краткий обзор систем разных типов

(экскурсия в «системный зоопарк»)

Основная задача любой теории… — сделать так, чтобы базовые элементы были максимально просты и так малочисленны, как только возможно без ущерба для адекватного представления… о том, что мы наблюдаем на практике.

*Альберт Эйнштейн**

Один из лучших способов учиться чему-то новому — изучать конкретные примеры, а не только общие положения и абстрактные зависимости. Это касается и поведения систем: существует несколько часто встречающихся, простых, но очень важных типов систем, и если в них как следует разобраться, то станут понятны основные принципы поведения и более сложных систем.

В изучении типовых систем есть свои плюсы и минусы, причем точно такие же плюсы и минусы свойственны любому

зоопарку**. С одной стороны, вы получаете представление о том, что в мире существует большое разнообразие

•к

Albert Einstein. **On the Method of Theoretical Physics — лекция имени Герберта Спенсера. Прочитана в Оксфорде 10 июня 1933 г. и опубликована в журнале Philosophy of Science. 1. no. 2(April 1934). 163-69.**

Название «системный зоопарк» впервые использовал профессор Харт-мут Боссел из университета Касселя в Германии. Недавно была издана

систем; с другой стороны, то, что вы можете непосредственно наблюдать, лишь малая тшшка общего разнообразия. В зоопарке животные размещены по зоологическим семействам: обезьяны здесь, медведи там. Прямо как у нас: системы с одним запасом здесь, с двумя запасами там. Вы можете понаблюдать поведение обезьян и сравнить его с поведением медведей. Однако обстановка в зоопарке далека от естественной — образно говоря, она слишком стерильна. Чтобы посетителям было удобно наблюдать, одних животных отделяют от других и помещают в среду, которая далека от природной, зато позволяет зрителям больше увидеть. Животные, в зоопарке сидящие по разным клеткам, в естественной среде обычно перемешаны и образуют сложные экосистемы. Так и типовые системы, описанные в этой книге, в реальной жизни обычно перемешаны друг с другом и взаимодействуют между собой и с теми системами, про которые здесь вообще нет ни слова. Наша реальная жизнь — это настоящая мешанина систем, безостановочно бурлящая и очень сложная.

К экосистемам мы еще вернемся, а пока изучим по отдельности несколько типичных «системных животных» в нашем зоопарке.

Системы с одним запасом

Запас и два балансирующих цикла обратной связи (циклы конкурируют между собой) — так работают обогреватели с термостатом

В примере с кружкой кофе мы увидели поведение системы, которая управляется одним балансирующим циклом об-

в трех томах его книга о «системном зоопарке», в которой приведены описания и результаты имитационного моделирования для более чем ста «системных животных». Некоторые из них в слегка измененном виде приводятся в

данной книге. *Hartmut Bossel.* System Zoo Simulation Models. Vol. 1: Elementary Systems, Physics, Engineering; Vol. 2: Climate, Ecosystems, Resources; Vol. 3: Economy, Society, Development. Norderstedt, Germany: Books on Demand, 2007.

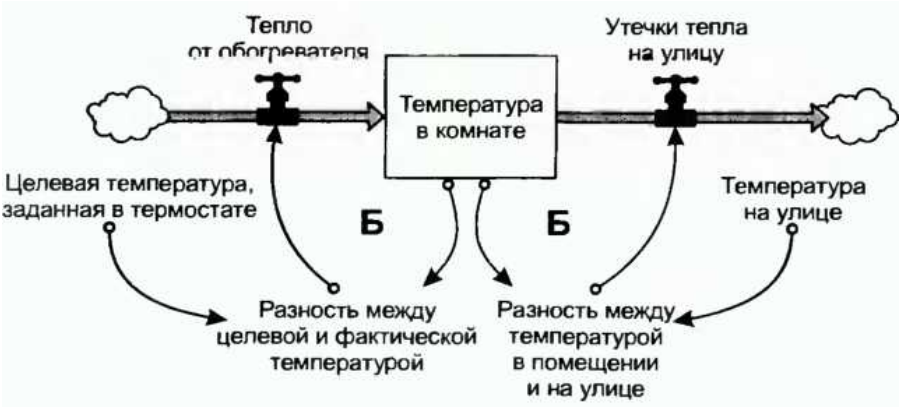


Рис. 15. Температура в помещении регулируется обогревателем с термостатом

ратной связи, а он стремится сравнять температуру кофе с комнатной. Что же произойдет, если в системе будет два таких цикла, изменяющих величину запаса в разных направлениях?

Классический пример такой системы — работа комнатного обогревателя с термостатом. Он регулирует температуру в помещении, при необходимости включаясь и нагревая воздух. Как и все модели, представление термостата на рис. 15 сильно упрощено — реальные системы контроля температуры в помещениях могут быть гораздо сложнее.

Если температура в помещении падает ниже целевой температуры, заданной в термостате обогревателя, датчик улавливает разницу и подает сигнал включить нагревательный элемент, чтобы нагреть воздух в комнате. Когда температура в помещении достигает желаемого значения, термостат выключает нагревательный элемент. Это простой балансирующий цикл обратной связи, направленный на поддержание конкретного значения запаса; на схеме он показан слева. Если бы в системе не было никаких других составляющих, то ее поведение выглядело бы так, как показано на рис. 16: холодная комната, термостат установлен на 18 °C, обогреватель начинает греть воздух, температура поднимается. Когда фактическая температура срав-

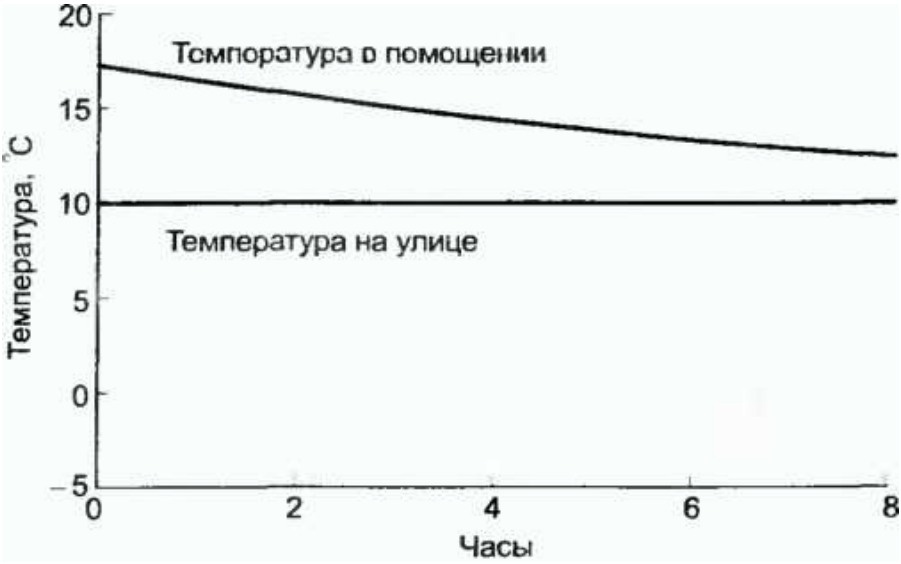
Рис. 16. Холодная комната прогревается до температуры, установленной в термостате

няется с целевой, заданной в термостате, нагревательный элемент отключится, температура перестанет меняться и останется равной целевой.

Однако в системе этот цикл не единственный. Часть тепла уходит из помещения на улицу в виде потерь. Утечки тепла описываются вторым балансирующим циклом обратной связи, показанным на рис. 15 справа. Он неустанно пытается сравнять температуру внутри помещения с уличной — точно так же, как было с остывающей кружкой кофе. Если бы в системе был только этот цикл (то есть если бы не было обогревателя), тогда температура в комнате менялась бы так, как показано на рис. 17 — становилась бы все ниже и ниже, пока в итоге не сравнялась бы с уличной.

Комната не может быть идеально заизолирована, поэтому, если снаружи холодно, то утечки тепла из нагретой комнаты на улицу неизбежны. Но чем лучше теплоизоляция, тем меньше эти утечки, и тем медленнее будет понижаться температура.

А теперь вопрос: что будет происходить, если оба цикла в системе работают одновременно? Допустим, что теплоизоляция комнаты выполнена достаточно хорошо, а обогреватель имеет достаточную мощность. Тогда цикл, отве-



Рис, 17. Теплая комната постепенно остывает, пока температура в ней не достигнет 10 °С, как на улице

чающий за нагрев, будет сильнее, чем цикл, отвечающий за остывание. Вам удастся нагреть помещение, даже если поначалу было холодно и снаружи, и внутри. Температура будет меняться так, как показано на рис. 18.

Чем выше становится температура в комнате, тем больше будут утечки тепла на улицу, поскольку разность меж-

Рис. 18. Обогреватель поднимает температуру в помещении, несмотря на утечки тепла из комнаты на улицу

ду температурой внутри и снаружи растет. Обогреватель

продолжает работать, пидавая тепла больше, чем уходит в виде утечек, температура будет расти и дальше, просто несколько медленнее, но в итоге все-таки достигнет значения, близкого к тому, что установлено в термостате. Затем обогреватель отключится, а после этого будет время от времени включаться снова, компенсируя потери тепла.

В нашем примере в термостате установлено целевое значение 18 °C, но реальная температура в комнате установится на уровне немного ниже 18 °C из-за утечек, которые не прекращаются ни на минуту. Так ведут себя все системы с соперничающими балансирующими циклами обратной связи, хотя иногда их поведение может показаться неожиданным. Образно говоря, система пытается наполнить доверху ведро с дырявым дном. Мало того, что ведро протекает, так еще и количество вытекающей жидкости управляется циклом обратной связи: чем больше воды в ведре, тем выше давление и тем быстрее вода утекает. В примере с комнатой мы пытаемся поднять температуру в помещении, чтобы внутри стало теплее, чем снаружи. Но чем теплее в комнате, тем больше утечки тепла на улицу. Обогревателю нужно время, чтобы после включения компенсировать эти потери, но в это время тепло все равно продолжает теряться. В доме с хорошей теплоизоляцией утечки тепла меньше, поэтому обстановка там комфортнее, чем в плохо заизолированном доме, даже если поставить в нем мощную печку.

С домашними обогревателями люди научились управляться, устанавливая в термостате температуру чуть выше, чем та, которой они на самом деле хотят добиться. *Насколько* выше — это уже другой вопрос, тут не все очевидно, ведь в холодный день утечки тепла на улицу больше, чем при хорошей погоде. Но обычно все-таки удается подобрать нужные настройки и обеспечить себе комфортную обстановку.

В других системах с такими же разнонаправленными циклами балансирующих связей подобное изменение запаса может сильно осложнить все попытки взять ситуацию под контроль. Представьте себе, что вам необходимо поддерживать определенный запас товаров на складе при магазине. Допустим, какое-то наименование почти распродано. Заказ новой партии требует некоторого времени, но ведь во время ожидания продажи будут продолжаться. Если вы не будете учитывать, сколько товара будет продано за время ожидания новой партии, ваш склад постоянно будет испытывать нехватку продукции. Точно такие же сложности возникнут при попытке постоянно иметь определенный запас наличных денег, удерживать уровень воды в

водохранилище на какой-то отметке, поддерживать определенную концентрацию вещества, участвующего в непрерывной химической реакции...

Все эти примеры роднит один общий принцип, и еще один относится к системам с термостатом. Он формулируется так: информация, получаемая за счет обратной связи, может повлиять только на будущее, предстоящее поведение; внутри системы информация распространяется с запаздыванием, и воздействие не может быть настолько быстрым, чтобы моментально скорректировать поведение, вызвавшее текущую обратную связь. Лицо, принимающее решение на основе обратной связи, не может изменить текущее поведение системы, вызвавшее эту обратную связь; все принимаемые решения повлияют только на ее поведение в будущем.

Информация, которую передает цикл обратной связи (даже если эта связь не носит физического, вещественного характера), может повлиять только на будущее поведение системы. Сигнал невозможно доставить настолько быстро, чтобы это позволило скорректировать поведение, вызывающее текущую обратную связь. Даже если информация имеет абстракт ный характер, она передается в системе с определенныг/ запаздыванием.

Почему это так важно? Потому, что отклик всегда будет поступать с запаздыванием. Ни один поток не может повлиять на другой поток во мгновение ока. Влияние возможно только опосредованно, через изменение запаса, и только после некоторой задержки в принятии поступающей информации. В ситуации с наполнением ванны на то, чтобы оценить уровень воды и решить, как подрегулировать краны, уходит доля секунды. Во многие экономические модели заложена большая ошибка, поскольку их разработчики полагают, что потребление или производство могут дать мгновенный отклик, к примеру, на изменение цены. Это одна из причин, по которой реальные экономические системы ведут себя не совсем так, как предсказывают модели.

Принцип, который относится к системам с термостатом (вы могли бы и сами сформулировать его на основе нашего несложного примера), заключается в том, что вы всегда должны учитывать утечки, непрерывно происходящие в том или ином направлении. Если вы не будете брать их в расчет, вы никогда не

достигнете желаемого значения запаса. Если в помещении надо обеспечить температуру в 18 ˚С, то в термостате нужно установить значение немножко выше, чем желаемое. Если вы хотите полностью погасить кредит (или страна хочет рассчитаться с долгами), то платежи надо увеличить настолько, чтобы покрыть те проценты, что будут начислены за время прохождения платежа. Если вам надо увеличить штат сотрудников,

В балансирующий цикл обратной связи, направленный на поддержание запаса неизменным, нужно вносить поправку на то, чтобы компенсировать влияющие на него же постоянные утечки, в каком бы направлении они ни происходили. Без такой поправки система промахнется мимо желаемого значения, и запас достигнет либо меньшей, либо большей величины.

то придется проводить наем быстрее, чем обычно, чтобы компенсировать уход тех сотрудников, кто уволится, пока вы нанимаете новых служащих. Другими словами, сложившееся у вас представление о системе — мысленная модель — должна включать все важные потоки. В противном случае поведение системы вас сильно удивит.

Прежде чем мы закончим изучение системы с термостатом, нужно проанализировать, как будет меняться поведение в зависимости от изменения температуры на улице. На рис. 19 показан характерный график изменений за сутки для нормально работающей системы с термостатом в условиях, когда ночью сильно холодает и температура падает ниже нуля.

У любого балансирующего цикла обратной связи есть некая переломная точка, после которой другим циклам, влияющим на запас, удается пересилить первый цикл и увести величину запаса в сторону от желаемого значения. В нашей системе с термостатом такое может произойти в том случае, если увеличатся утечки (на улице холоднее или теплоизоляция дома хуже) или обогреватель будет менее мощным — то есть либо цикл, отвечающий за нагрев

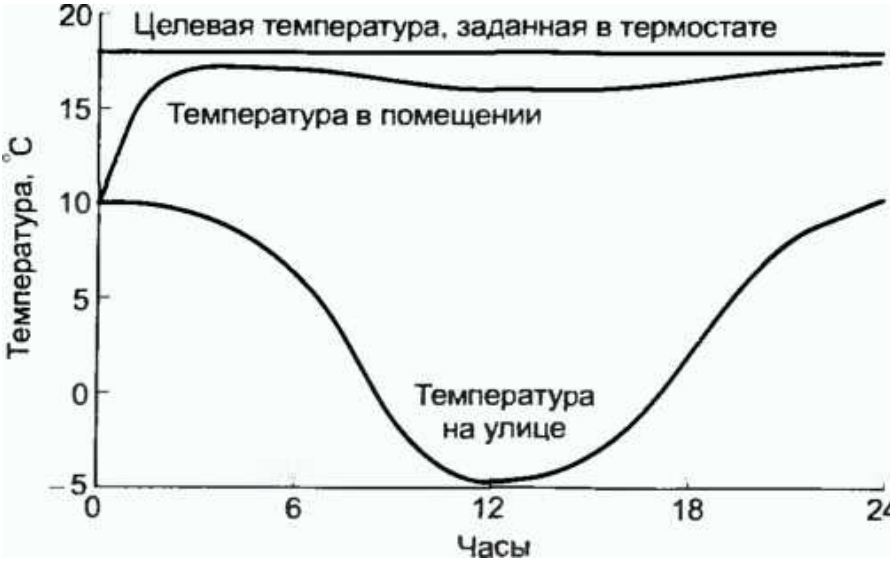


Рис. 19. Обогреватель поднимает температуру в холодной комнате, несмотря на то что постоянно происходит утечка тепла из помещения на улицу, где ночью температура существенно ниже нуля

воздуха в помещении, станет слабее, либо цикл, описывающий утечки тепла наружу, станет сильнее. На рис. 20 показано, что происходит в системе, если на улице температура точно такая же, как на рис. 19, а тепло теряется быстрее. В этом случае обогреватель не сможет справиться с утечками тепла. Цикл, стремящийся сравнять температуру в помещении с уличной, станет в системе доминирующим, и в комнате тогда будет очень неуютно.

Обратите внимание: изменение во времени переменных, изображенных на рис. 20, происходит с определенной взаимной зависимостью. Сначала и на улице, и в комнате одинаково холодно. Поток тепла от обогревателя больше, чем потери тепла из-за утечек, поэтому в помещении становится теплее. В течение одного-двух часов температура на улице еще довольно умеренная, обогревателю удается компенсировать потери почти полностью, и температура в комнате держится близко к желаемому значению.

Однако затем на улице холодает, утечки становятся сильнее, и обогреватель уже не в состоянии компенсировать все потери. Температура в помещении снижается. Когда к утру на улице снова устанавливается умеренная

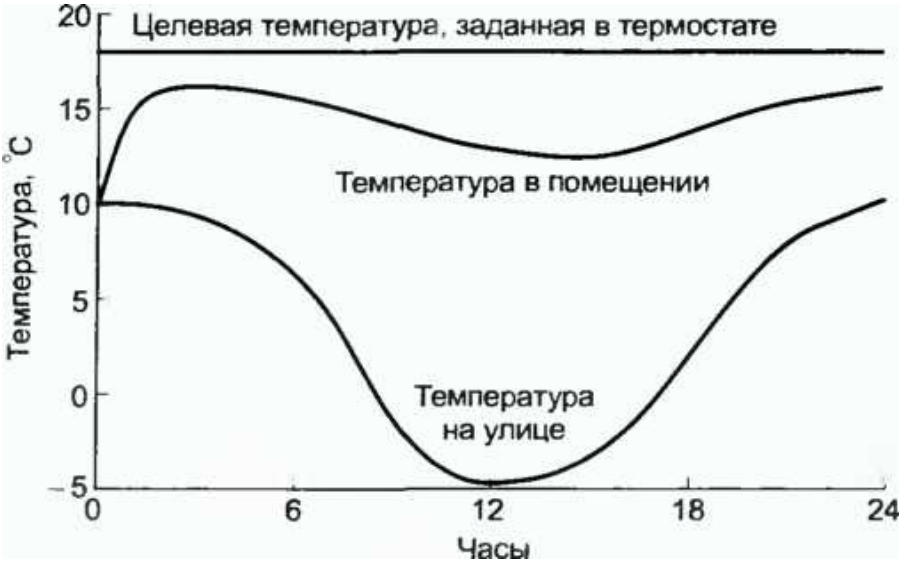


Рис. 20. В холодный день обогреватель не справится со своей задачей, тепло будет улетучиваться из всех щелей

температура, потери тепла уменьшаются, и обогревателю, который на самим деле ьсе это время работал на полную мощность, удается понемногу поднимать температуру и нагревать комнату.

Изменения происходят по тому же сценарию, что и наполнение ванны: всякий раз, когда обогреватель дает больше тепла, чем теряется из-за утечек, температура в помещении растет. Верно и обратное: всякий раз, когда входящий поток становится меньше выходящего, температура снижается. Если вы потратите некоторое время на изучение изменений в системе по этим графикам и соотнесете их с потоковой диаграммой, у вас сложится довольно полное представление о структурных связях в этой системе и о том, как два цикла обратной связи меряются силами и тем самым вызывают изменение поведения во времени.

Запас, один усиливающий цикл и один балансирующий цикл обратной связи — так изменяются численность населения и величина промышленного капитала

Что будет происходить, если в системе на один и тот же запас влияют усиливающий и балансирующий циклы обратной связи? Это одна из самых важных структур, она часто встречается в реальной жизни. Помимо всего прочего, именно она описывает изменение численности населения и величины капитала в экономике.

Численность населения определяется усиливающим циклом, который описывает ее рост за счет рождаемости, и балансирующим циклом, который описывает ее уменьшение из-за смертности.

Если рождаемость и смертность постоянны (а в реальном мире так бывает редко), то поведение системы описать довольно просто. Население экспоненциально растет или же уменьшается, в зависимости от того, какая петля обратной связи сильнее: усиливающий цикл, ответственный за рождаемость, или балансирующий цикл, описывающий смертность.

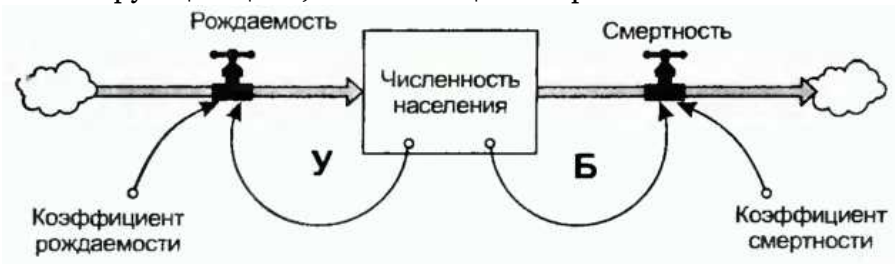


Рис. 21. Численность населения зависит от усиливающего цикла, описывающего рождаемость, и балансирующего цикла, описывающего смертность

Например, в 2007 г. численность населения в мире составила 6,6 млрд человек, при этом коэффициент рождаемости обеспечивал примерно 21 рождение на тысячу человек в год (составлял 21 чел./тыс. в год). Коэффициент смертности составлял 9 чел./тыс. в год. Рождаемость была существенно выше смертности, и усиливающий цикл в системе был доминирующим. Если коэффициенты рождаемости и смертности останутся такими же, то ребенок, родившийся в 2007 г., к шестидесяти годам будет жить в мире с численностью населения вдвое большей, чем сейчас — это показано на рис. 22.

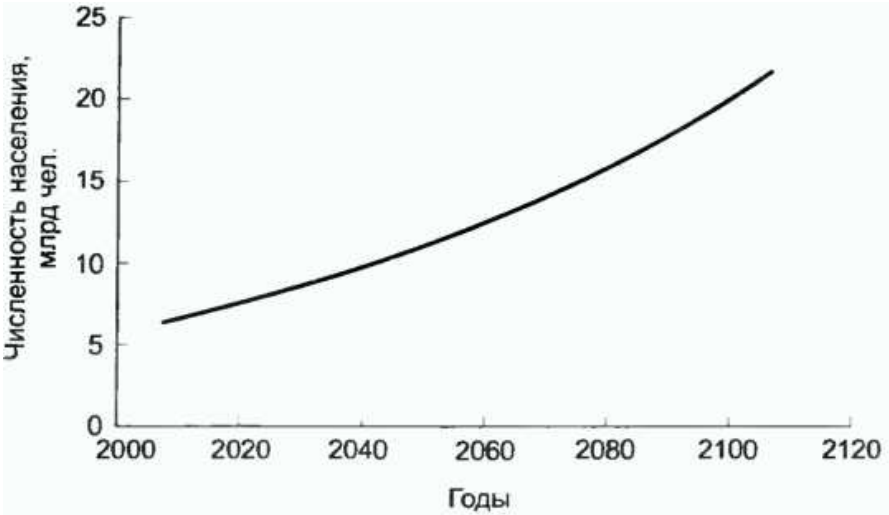


Рис. 22. Рост численности населения, если коэффициенты рождаемости и смертности останутся такими же, как в 2007 г. (21 чел./тыс. в год и 9 чел./тыс. в год соответственно)

Если в результате какой-нибудь страшной эпидемии коэффициент смертности резко увеличится, например, ди 30 чел./тыс., а коэффициент рождаемости останется прежним, в системе будет доминирующим уже другой цикл — описывающий смертность. В мире ежегодно будет умирать больше людей, чем рождается детей, и численность населения будет постепенно уменьшаться — это показано на рис. 23.

Поведение системы становится более интересным, если коэффициенты рождаемости и смертности со временем меняются. Когда ООН делала долговременные прогнозы изменения численности населения, предполагалось, что по мере промышленного развития стран средний коэффициент рождаемости будет уменьшаться (приближаясь к уровню воспроизводства, когда на одну женщину в среднем приходится 1,85 ребенка). До недавнего времени предполагалось, что коэффициент смертности тоже будет снижаться, однако медленнее, поскольку он и так невелик в большинстве стран мира. Однако из-за эпидемии ВИЧ/СПИДа теперь ООН выдвигает предположение о том, что рост ожидаемой продолжительности жизни в ближайшие 50 лет в ре-

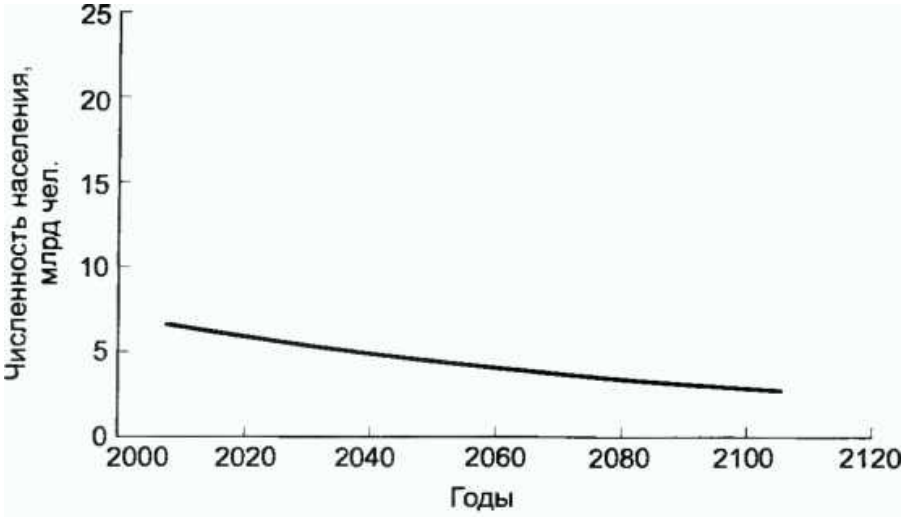


Рис. 23. Уменьшение численности населения, если коэффициент рождаемости останется таким же, как в 2007 г. (21 чел./тыс. в год), а коэффициент смертности резко возрастет (до 30 чел./тыс. в год)

гионах, где распространены ВИЧ и СПИД, будет гораздо медленнее, чем оценивалось раньше.

Изменение потоков (рождаемость и смертность) вызывает изменение во времени величины запаса (численность населения), и график меняется. Если, к примеру, к 2035 г. рождаемость в мире снизится и сравняется со смертностью, и после этого соответствующие коэффициенты останутся неизменными, то численность населения стабилизируется (это показано на рис. 24). Рождение детей будет точно восполнять естественную убыль населения, установится динамическое равновесие.

Такое изменение в поведении называется обратимым доминированием циклов обратной связи. Доминирование — очень важное понятие в системном мышлении. Если один цикл доминирует над другим, он в большей степени определяет поведение системы. В системах зачастую бывает несколько конкурирующих петель обратной связи, работающих одновременно, но именно доминирующий цикл определяет поведение системы.

В нашем примере поначалу коэффициент рождаемости был больше коэффициента смертности, и доминировал

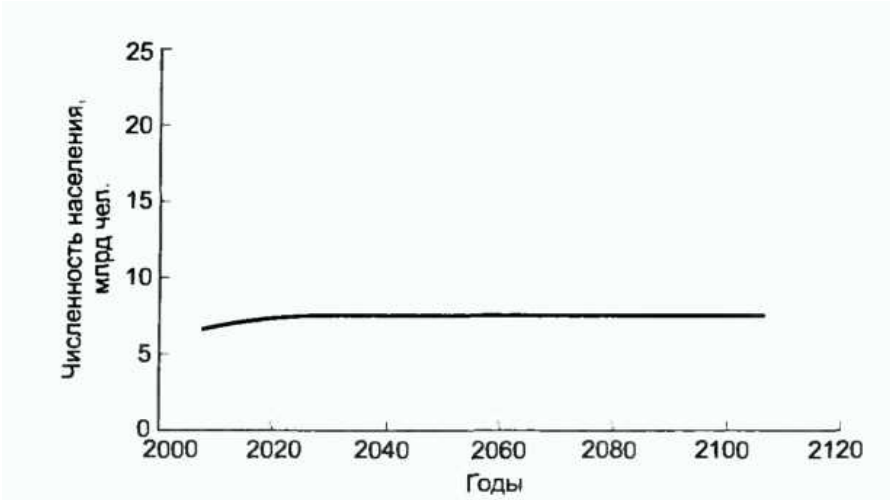


Рис. 24. Если рождаемость сравнивается со смертностью, численность населения стабилизируется

усиливающий цикл, ответственный за рост численности населения. В результате система демонстрировала экспоненциальный рост. Однако по мере того, как уменьшался коэффициент рождаемости, этот цикл постепенно становился слабее. Под конец он сравнялся по мощности с балансирующим циклом, отвечающим за смертность, и тогда установилось динамическое равновесие. При равновесии ни один из циклов не является доминирующим.

Обратимое доминирование присутствовало и в системе с термостатом: когда температура на улице существенно понижалась, утечки тепла в доме с плохо выполненной теплоизоляцией настолько усиливались, что обогреватель уже не справлялся с ними, поэтому в комнате становилось ощутимо холоднее. Если раньше доминировал цикл, отвечающий за нагрев, то потом основное воздействие ьа систему оказывал цикл охлаждения.

Сложное поведение систем часто объясняется переходом доминирования от одного цикла обратной связи к другому. В этом случае в разные моменты времени поведение системы определяют разные петли обратной связи.

Система, запасом в которой выступает численность населения, может вести себя ограниченным числом способов в зависимости от того, как меняются переменные, определяющие,

кто «захватит управление» системой, — то есть коэффициенты рождаемости и смертности. В простой системе с одним усиливающим и одним балансирующим циклом таких ключевых переменных очень мало. Запас, управляемый усиливающим и балансирующим циклами, будет экспоненциально расти, если доминирует усиливающий цикл; будет постепенно снижаться, если доминирует балансирующий цикл; и не будет меняться, если циклы окажутся одинаковой мощности (все эти варианты показаны на рис. 25). Если же отношение между этими циклами

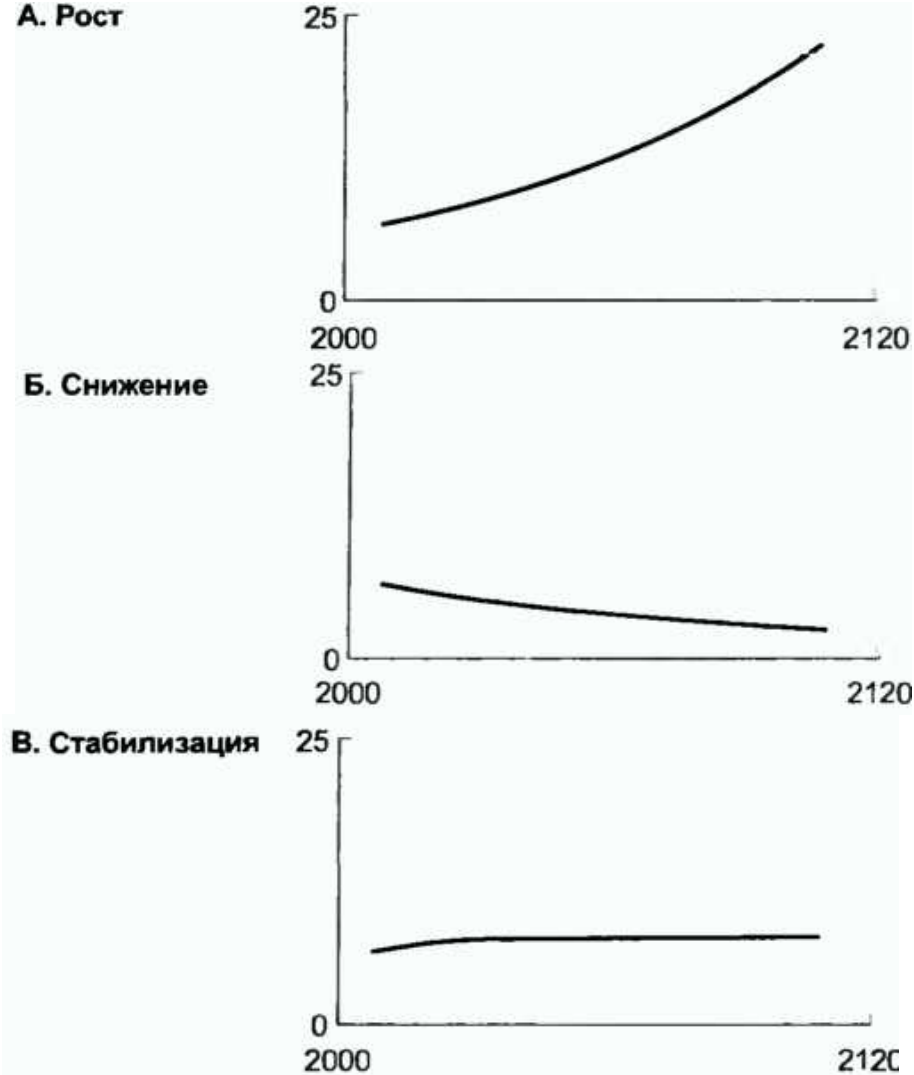


Рис. 25. Три возможных варианта изменения численности населения: рост, постепенное снижение или стабилизация на каком-то уровне

меняется во времени, то система будет демонстрировать то первый, то второй, то третий вариант поведения (это иллюстрирует рис. 26).

Выбранные сценарии поведения системы — если речь идет о численности населения — можно назвать провокационными, но зато они прекрасно иллюстрируют особенности моделей и показывают, каким в принципе может быть развитие событий. Всякий раз, когда вы имеете дело

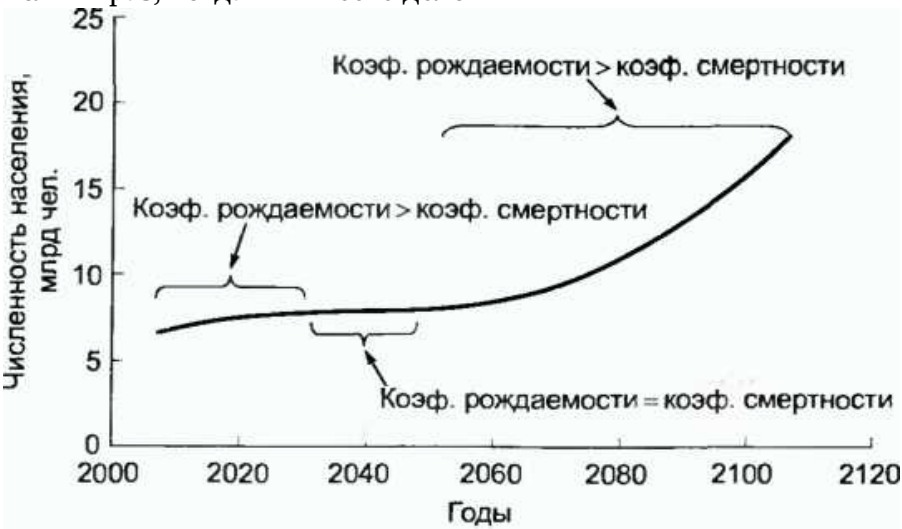


Рис. 26. Обратимое доминирование циклов рождаемости и смертности

со сценариями (а ведь экономические прогнозы, такие как бюджет компании на будущий год, прогноз биржевого маклера — это все сценарии, равно как и прогнозы погоды, и предсказание изменения климата...), вопрос в том, насколько точно модель описывает реальную систему.

■ Могут ли движущие силы изменяться таким образом? (Как обычно изменяются коэффициенты рождаемости и смертности и как они в принципе могут изменяться?)

■ Если могут, то будет ли система реагировать именно так? (Действительно ли рождаемость и смертность изменяют запас — численность населения — так, как мы привыкли считать?)

■ Что управляет движущими силами? (Что влияет на коэффициент рождаемости? На коэффициент смертности?)

На первый из приведенных вопросов ответить с точностью нельзя. Можно лишь предположить, что будет в будущем, а такие предположения в принципе не могут быть точными. Даже если вы интуитивно или на основе опыта

в чем-то уверены, невозможно доказать (или опровергнуть)

вашу правоту до тех пор, пика будущее не наступит. Системный анализ позволяет проверить ряд возможных сценариев, чтобы посмотреть, какими могут быть последствия при том или ином изменении движущих сил. В этом состоит одна из целей системного анализа. Но определить, насколько правдоподобен тот или иной сценарий, способен ли он воплотиться в жизнь, можете только вы сами.

Системно-динамический анализ не предназначен для того, чтобы *предсказывать,* что произойдет. Он позволяет выяснить, что *может произойти,* если те или иные движущие силы поведут себя так или иначе.

Системно-динамические модели рассматривают возможные сценарии будущего поведения и отвечают на вопрос «Что, если…?».

Второй вопрос — будет ли система в действительности вести себя таким образом? — требует научного подхода, чтобы оценить, насколько адекватна модель, насколько точно она имитирует поведение реальной системы. Независимо от того, как вы себе представляете будущее изменение движущих сил, *будет ли система вести себя соответственно* их изменениям?

В сценарии изменения численности населения, показанном на рис. 26, ответ на этот вопрос будет «В целом, да», потому что если рождаемость и смертность будут находиться именно в таком соотношении, как показано на графике, то численность населения будет расти или уменьшаться в соответствии с их изменениями. Модель изменения численности населения, приведенная в нашем примере, очень проста. В более сложных моделях, к примеру, есть деление на возрастные группы. Однако в общем и целом эта модель дает представление о том, по какому пути может пойти реальный мир: при одних условиях рост будет наблюдаться и в модели, и в реальной жизни, при

Вопросы для проверки адекватности модели

Чтобы определить, система перед вами или набор разрозненных деталей, проанализируйте:

1. Могут ли движущие силы изменяться таким образом?
2. Если могут, то будет ли система реагировать именно так?
3. Что управляет движущими силами?

других — ив модели, и в реальном мире численность населения будет уменьшаться. Конкретные цифры могут отличаться, но общие тенденции поведения описываются верно.

Наконец, третий вопрос. Что управляет движущими силами? Что заставляет меняться входные и выходные потоки? Этот вопрос связан с пониманием границ системы. Необходимо детально разобраться, независимы ли эти движущие силы или они находятся под влиянием других частей системы.

Полезность модели, ее адекватность зависят не столько от того, реалистичны ли сценарии изменения ее движущих сил (никто за это поручиться не может), сколько от того, реалистичны ли типы поведения, которые она демонстрирует.

Влияет ли как-нибудь численность населения на то, какими могут быть коэффициенты рождаемости и смертности? Влияют ли на рождаемость и смертность другие факторы — экономические, экологические, социальные? Влияет ли численность населения на эти экономические, экологические и социальные факторы?

Конечно, ответом на все эти вопросы будет «Да». Рождаемость и смертность тоже управляются циклами обратной связи. Как минимум на некоторые из этих циклов влияет величина численности населения. В нашем зоопарке систем «животное», отвечающее ла численность населения, — лишь один из фрагментов гораздо более сложной системы.[14]

На численность населения влияет другой очень важный фрагмент большой системы — тот, что описывает поведение экономики. В его основе лежат два других цикла обратной связи — усиливающий и балансирующий. Они образуют такую же структуру, как и та, что управляет численностью населения (посмотрите на рис. 27), и ответственны за такое же поведение.

Чем больше в экономике величина физического капитала (оборудование и заводы) и чем выше эффективность производства (объем производства на единицу капитала), тем больше годовой выпуск продукции (товаров и услуг).

Чем больше объем производства, тем больший процент может быть инвестирован в создание нового капитала. Это — усиливающий цикл обратной связи, подобный пик-

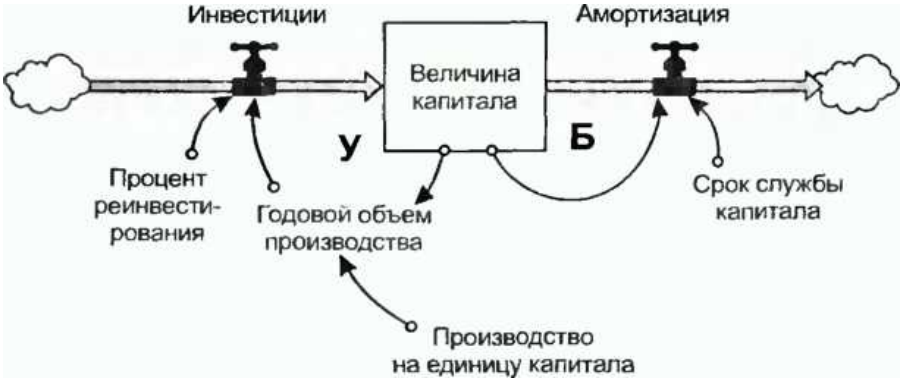


Рис. 27. Как и в структуре с численностью населения, экономический капитал зависит от усиливающего цикла, ответственного за рост (инвестиции в виде доли от годового объема производства), и балансирующего цикла, ответственного за снижение капитала (амортизация)

лу рождаемости. Инвестируемый процент капитала подобен коэффициенту рождаемости. Чем бильшую долю годо вого валового продукта инвестирует общество, тем быстрее растет капитал.

Физический капитал уменьшается из-за амортизации — выхода из строя, износа и устаревания оборудования. Балансирующий цикл, описывающий амортизацию, подобен циклу смертности. «Смертность» капитала определяется в соответствии со средним сроком службы капитала. Чем больше срок службы капитала, тем меньшая его часть ежегодно выбывает и подлежит замене.

Раз в этой системе структура такая же, как в системе, описывающей численность населения, то и поведение должно быть такое же. Современная история изменения капитала, как и численности населения, показывает доминирование усиливающего цикла, а это вызывает экспоненциальный рост. Будет ли капитал расти в будущем, останется ли постоянным или станет уменьшаться — зависит от того, будет ли усиливающий цикл доминировать над балансирующим циклом, описывающим амортизацию. Это, в свою очередь, зависит от:

■ процента инвестируемого капитала — какую долю ежегодного объема производства общество предпочитает не потребить, а вложить в дальнейшее развитие производства;

■ эффективности работы капитала — сколько капитала нужно для производства заданного объема продукции,

и, наконец,

■ среднего срока службы капитала.

Если реинвестировать фиксированный процент годового

объема производства, увеличивая капитал, и вкладывать определенный процент в повышение эффективности капитала (то есть его способности производить продукцию), то величина капитала может уменьшаться, расти или быть постоянной в зависимости от того, каков срок службы капитала. Графики на рис. 28 показывают, как ведет себя система при разных сроках службы капитала. Если срок невелик, то капитал изнашивается быстрее, чем восполняется. Инвестиций не хватает на то, чтобы покрыть амортизацию, и экономика постепенно начитает приходить в упадок. Если амортизация и инвестиции компенсируют друг друга, экономика будет находиться в состоянии динамического равновесия. При более продолжительном сроке службы капитал будет экспоненциально расти. И чем продолжительнее срок службы, тем быстрее будет рост.

Это еще одно проявление принципа, с которым мы уже сталкивались: запас можно заставить расти не только за счет увеличений входного потока, но и за счет уменьшения выходного.

Точно так же, как на коэффициенты рождаемости и смертности влияли многие факторы, так и на объем произ-

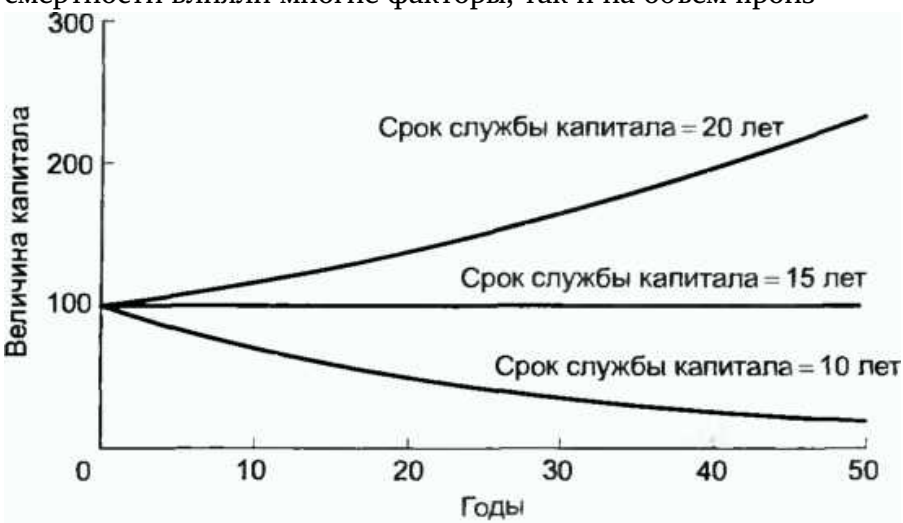


Рис. 28. Изменение величины капитала в зависимости от продолжительности срока его службы. В системе с объемом производства на единицу капитала порядка *1 /3 и* ежегодным реинвестированием 20% капитала при 15-летнем сроке его службы будет происходить лишь восполнение изношенного капитала. При меньшем сроке службы капитал будет постепенно уменьшаться, при большем — экспоненциально возрастать

водства на единицу капитала, процент реинвестирования и

срок службы капитала влияет очень многое: банковские проценты, уровень развития технологий, налоговая политика страны, сложившиеся потребительские привычки, цены, и это далеко не полный список. Население тоже влияет на инвестирование в производство: от рабочей силы зависит объем выпуска, а растущие запросы потребителей способны привести к уменьшению процента реинвестирования. Годовой объем производства, в свою очередь, тоже может влиять на численность населения. В богатых странах, как правило, хорошо развито здравоохранение, поэтому коэффициент смертности ниже. Но и коэффициент рождаемости в них обычно меньше.

Практически в любой модели реальной экономики, рассчитанной на долговременную перспективу, должны присутствовать структуры, описывающие численность населения и капитал, причем должно учитываться и их взаимное влияние. Ключевой вопрос развития современной экономики — как поддержать усиливающий цикл накопления капитала на более высоком уровне, чем усиливающий цикл роста численности населения, чтобы люди становились богаче, а не беднее.[15]

Может показаться странным, что в нашем «зоопарке» структура, отвечающая за численность населения, и структура, описывающая капитал, отнесены к «животным» одного вида. Система производства, включающая заводы, партии товара и финансовые потоки, выглядит не слишком похожей на систему, описывающую динамику населения с появлением людей на свет, их старением, бесконечным круговоротом рождений и смертей. Однако с системнодинамической точки зрения эти системы, столь непохожие во внешних проявлениях, имеют общую принципиальную основу: структуры обратных связей. Обе они управляются усиливающим циклом обратной связи, который стремится увеличить запас, и балансирующим циклом, который стремится тот же запас стабилизировать. В обеих системах существует понятие старения. Сталелитейные заводы, токарные станки и турбины стареют и рано или поздно покидают этот мир — так же, как люди.

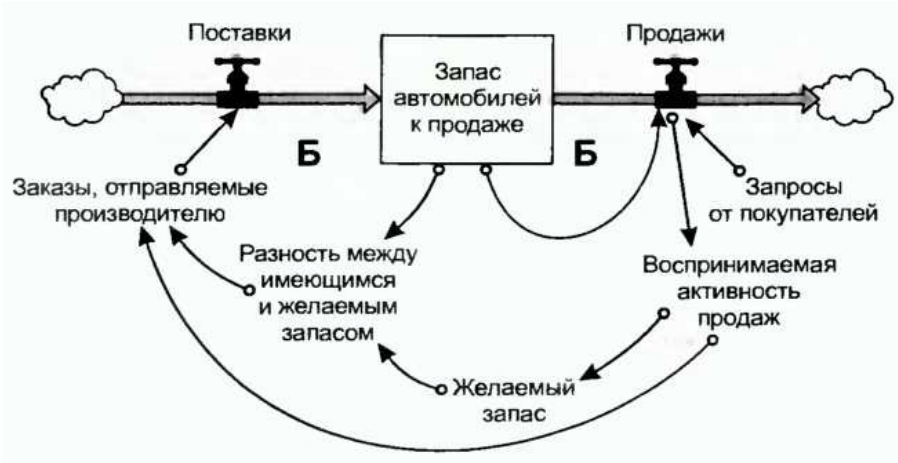


Рис. 29. Запас автомобилей на стоянке у дилера поддерживается постоянным за счет двух конкурирующих циклов балансирующей обратной связи: один отвечает за продажи, другой — за поставки

Теперь представьте себе управляющую систему обратных связей, предназначенную для того, чтобы поддерживать запас на складе достаточно большим — таким, чтобы можно было обеспечить полноценные продажи в течение десяти дней (схема показана на рис. 29). Дилер в любом случае вынужден держать склад, ведь заказы и поставки не могут совпадать день в день. Заранее предсказать желание покупателя приобрести машину в какой-то конкретный день просто невозможно. К тому же дилер должен учитывать вероятность задержек с поставками от производителя по тем или иным причинам, и на такой случай нужно иметь некоторое количество автомашин в качестве «буфера».

Милая девушка-менеджер, работающая в дилерской компании, отслеживает продажи (воспринимаемую ею покупательскую активность), и если ей кажется, что продажи растут, то производителю отправляется увеличенный заказ, чтобы привести запас автомобилей к новому желаемому уровню, достаточному для поддержания более активных продаж на протяжении десяти дней. Более высокие фактические продажи означают, что становятся выше

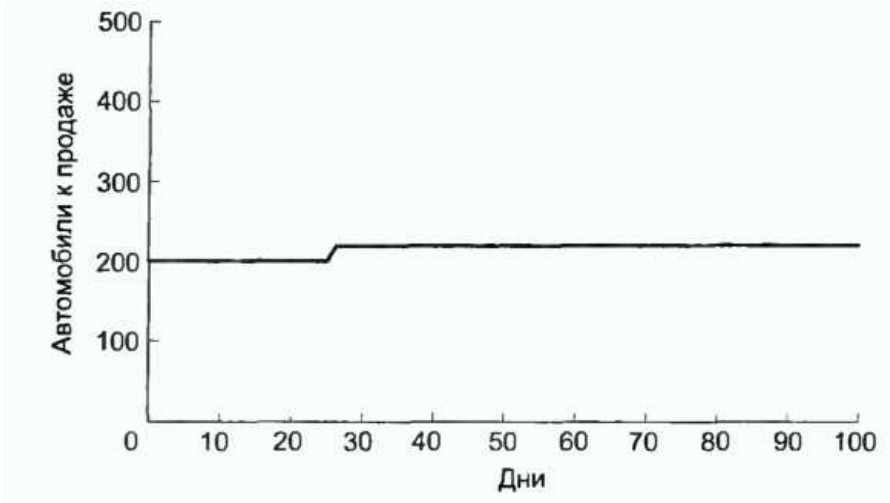


Рис. 30. Запас автомобилей на стоянке у дилера в ответ на возросшие запросы покупателей увеличивается на 10%, начиная с 25-го дня

ожидаемые продажи, то есть увеличивается разность между имеющимся и желаемым складским запасом. Увеличивается заказ продукции у изготовителя, увеличиваются поставки, увеличивается запас на складе, достаточный, чтобы поддержать более активные продажи.

Эта система представляет собой модификацию примера с термостатом: один балансирующий цикл обратной связи уменьшает величину запаса, а конкурирующая с ним балансирующая петля поддерживает запас на складе за счет восполнения проданных автомобилей новыми. На рис. 30 показано поведение системы в ответ на увеличение покупательской активности на 10%, причем это поведение вполне ожидаемо.

На рис. 31 в нашей простой системе появляется дополнительный фактор — трехдневное запаздывание — с этим явлением в реальной жизни сталкивается каждый из нас.

Во-первых, существует задержка в восприятии (в данном случае намеренная). Девушка-менеджер не должна реагировать на каждый случайный всплеск продаж. Прежде чем разместить дополнительный заказ у производите-

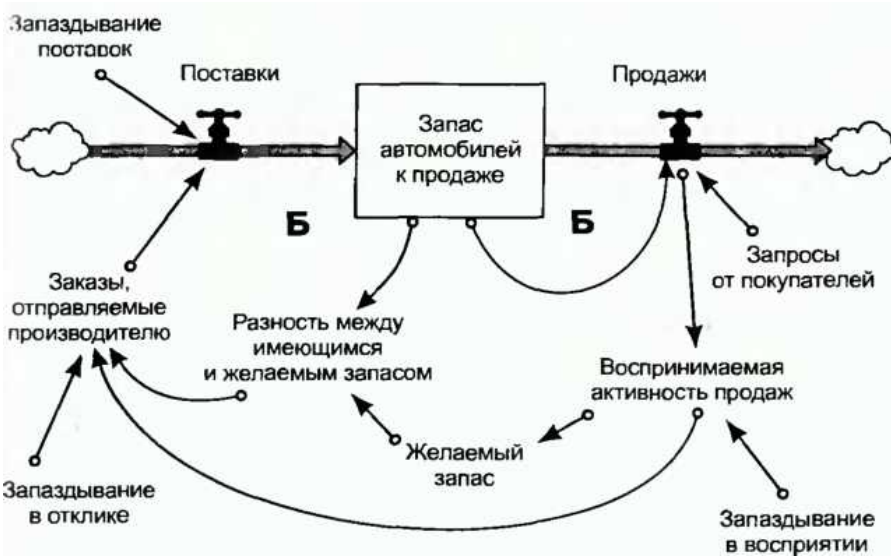


Рис. 31. Запас автомобилей на стоянке у дилера изменяется с учетом трех запаздываний, введенных в схему: запаздывание в восприятии, в отклике и в поставках продукции

ля, ей нужно вычислить средние продажи за последние пять дней, чтобы отсечь случайные провалы и всплески продаж и определить реальные тенденции.

Во-вторых, существует задержка в отклике. Даже если точно известно, что нужно дополнительно заказать сколько-то машин, менеджер должна разместить это количество не в одном заказе, а в нескольких. Сначала делается заказ, покрывающий примерно треть предполагаемой дополнительной потребности. Потом еще такой же заказ, и еще один. Фактически, такими частичными дозаказами дилер перестраховывается, чтобы в течение дополнительных трех дней убедиться, что тенденция роста действительно есть.

В-третьих, существует еще запаздывание поставок. Изготовителю на заводе нужно пять дней, чтобы получить, обработать и выполнить заказ, доставив продукцию дилеру.

Система по-прежнему состоит из двух балансирующих циклов обратной связи, точно как упрощенная система с

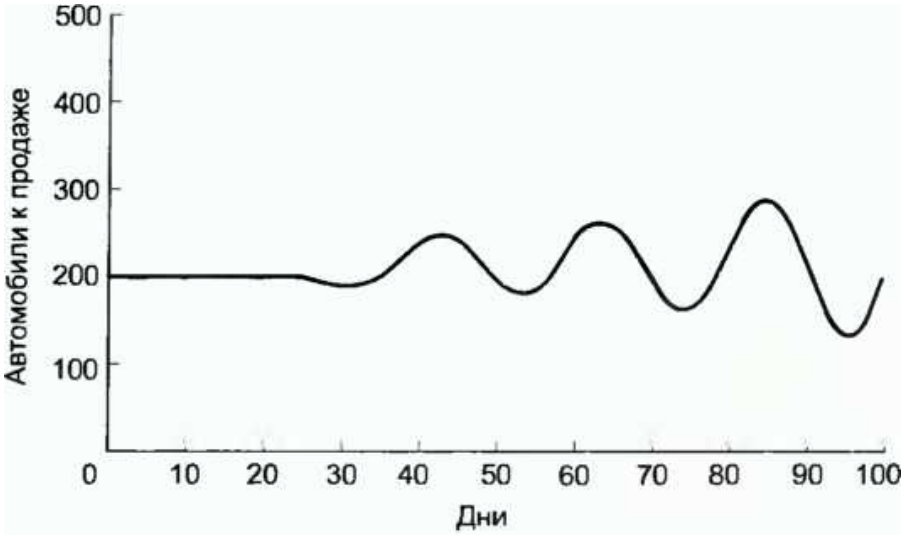


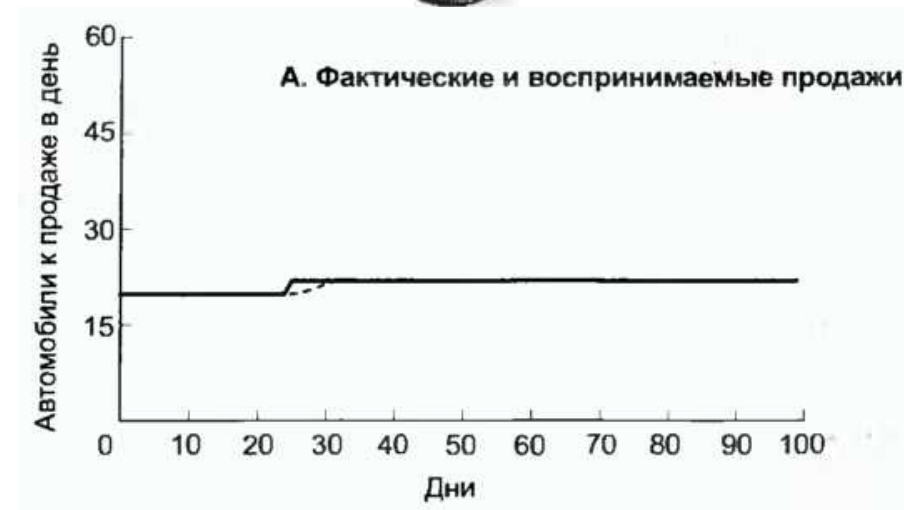
Рис. 32. Изменение запаса автомобилей на стоянке у дилера в ответ на 10% -е увеличение продаж, если в системе присутствуют запаздывания

термостатом, но поведение ее будет совершенно иным. На рис. 32 показано, что же произойдет в системе, если в продажах будет наблюдаться такое же увеличение на 10%, как и в предыдущем случае.

Колебания! Простой скачок продаж может привести к тому, что в какой-то момент запас станет нулевым — стоянка опустеет. Казалось бы, девушка-менеджер достаточно предусмотрительна и предпринимает действия только тогда, когда убедится в том, что продажи действительно увеличились и это не кратковременный скачок. Она начинает заказывать больше автомобилей, чтобы покрыть текущие (более высокие) потребности продаж и увеличить запас автомобилей на стоянке. Но на размещение и выполнение заказов нужно время. За это время стоянка ощутимо пустеет, поэтому заказы приходится увеличивать еще и еще — без этого не обеспечить запас, достаточный для поддержания продаж в течение 10 дней.

Затем заказанные автомобили начинают прибывать к дилеру, запас на стоянке восполняется — и оказывается, что автомобилей даже больше, чем было нужно для простого восполнения склада! Просто за то время, пока сказыва-

Зяпядыняние I* балансирующем цикле обратной связи приводит систему к колебаниям.



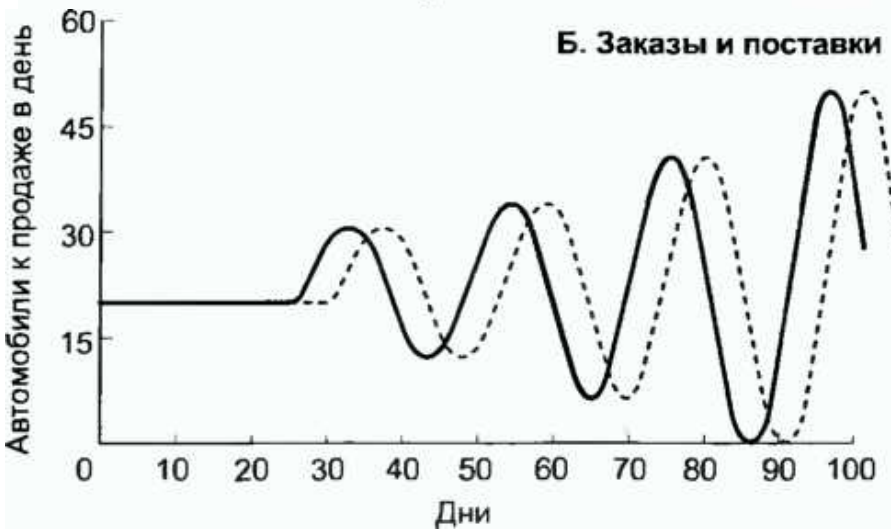


Рис. 33. **Отклик заказов и доставок на увеличение запросов покупателей. На рис. А показано, что на 25-й день происходит небольшой, но резкий скачок в продажах. Менеджер воспринимает возросшую активность продаж с запаздыванием, поскольку усредняет количество проданных автомобилей за три дня. На рис. Б показана кривая заказов (сплошная линия) и отстающая от нее кривая поставок от изготовителя (пунктирная линия)**

лось запаздывание, наша девушка-менеджер успела заказать слишком много. Она оеознает слою ошибку и, чтобы исправить

ее, сокращает заказы. Но ранее сделанные заказы (большие!) продолжают прибывать, поэтому с каждым днем она вынуждена заказывать все меньше и меньше. На самом деле, теперь она заказывает меньше, чем нужно, поскольку не знает наверняка, как будут разворачиваться события с продажами дальше. Склад снова начинает пустеть. Колебания около новой желаемой величины запаса продолжаются... На рис. 33 показано, что произойдет несколькими циклами позже.

Чуть позже будет описано несколько способов погасить такие колебания в величине складского запаса, но прежде всего необходимо понять, почему они вообще возникли. Вовсе не потому, что милая девушка-менеджер бестолкова и не умеет работать. Настоящая причина в том, что она вынуждена работать в рамках системы, в которой не хватает оперативной информации (ее и не может быть), к тому же существует физическое запаздывание между действиями, которые предпринимает менеджер, и откликами на них — изменением запаса автомобилей на стоянке. Никто не знает, как поведут себя покупатели в будущем. Если сейчас они покупают, то это совсем не значит, что завтра они будут покупать так же и столько же. Когда наша девушка-менеджер размещает заказ, она не получает немедленного отклика на него. Такие ситуации встречаются очень часто — нехватка оперативной информации в сочетании с физическими запаздываниями. Подобные колебания встречаются и на складах, и во многих других системах. Попробуйте, например, принять душ и точно отрегулировать температуру, если труба от смесителя горячей/холодной воды до душевой насадки будет длинной — и вы на собственном опыте ощутите все «прелести» колебаний, вызванных запаздыванием.

Каким должно быть запаздывание, чтобы вызвать конкретные колебания в конкретных условиях, — вопрос довольно сложный. На том же примере с автомобилями можно показать, почему.

«С этими колебаниями мириться нельзя! — говорит себе наша девушка. Она способна к обучению и хочет найти способ устранить колебания запаса на вверенном ей складе. — Сокращука я запаздывания. Срок поставки от изготовителя я, конечно, изменить не могу, но со своей стороны реагировать буду быстрее. Можно усреднять данные по продажам не за пять, а за два дня, прежде чем принимать решение об изменении заказа».

На рис. 34 показано, что произойдет, если дилер станет воспринимать рост продаж по усреднению за два дня вместо пяти.

Как видите, даже если наша девушка-менеджер будет реагировать быстрее, ей это не поможет. Наоборот, ситуация с колебаниями в количестве автомобилей на стоянке станет даже

хуже — обратите внимание на цену деления на вертикальной оси. Если же вместо уменьшения запаздывания в восприятии она решит уменьшить запаздывание в своем отклике (будет распределять дополнительное количество не по трем заказам, а по двум), все станет еще хуже, причем намного — это показано на рис. 35.

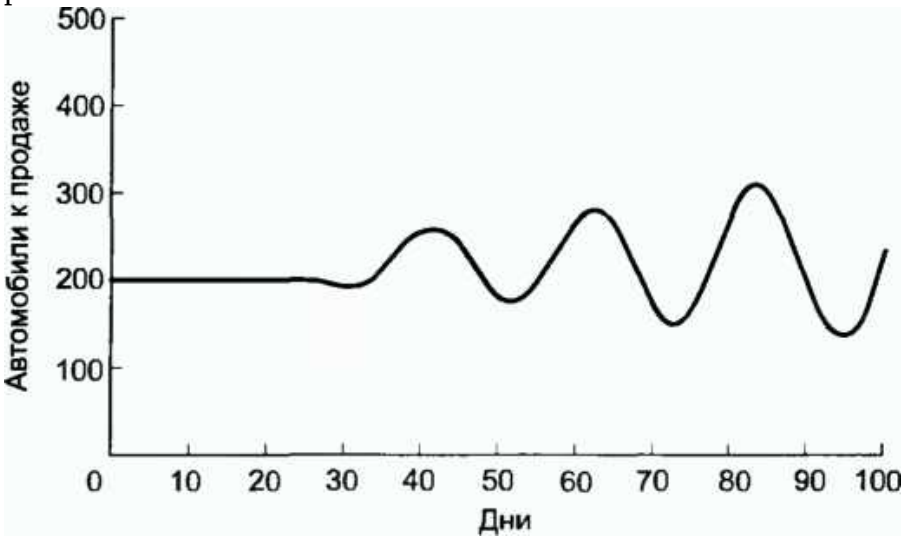


Рис. 34. Изменение запаса автомобилей на стоянке у дилера в ответ на то же 10%-е увеличение продаж, если дилер будет опираться на усреднение за два дня, а не за пять

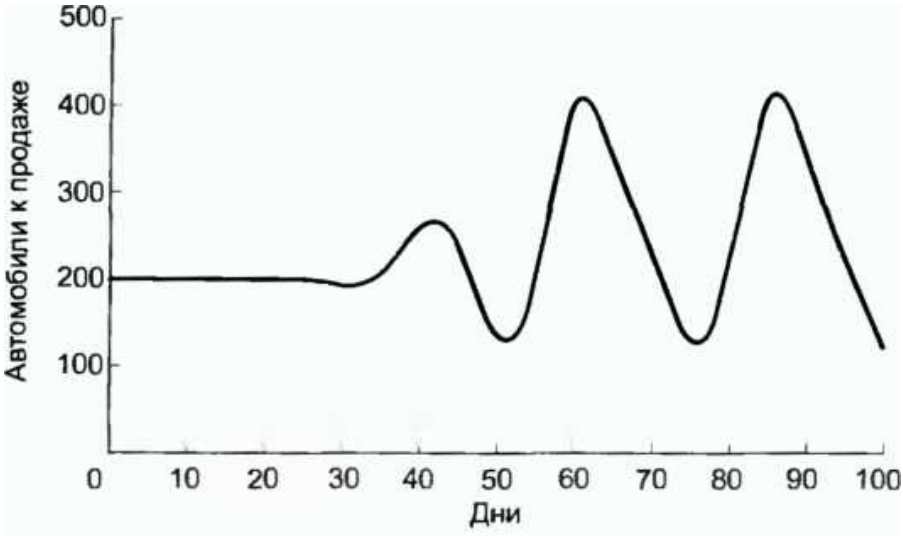


Рис. 35. Изменение запаса автомобилей на стоянке у дилера в ответ на то же 10% -е увеличение продаж, если отклик дилера будет предусматривать распределение дополнительного количества по двум заказам вместо трех

В системе что-то надо менять. Поскольку нашей системой управляет сотрудница, способная к обучению, она попытается принять меры. «У меня есть мощный рычаг, но похоже, что я его применяю не в том направлении», — говорит себе наша девушка, обладающая задатками системного мыслителя, с грустью наблюдая результаты своих попыток погасить колебания в системе. Подобные плачевные результаты, кстати говоря, встречаются буквально всюду: кто-нибудь, руководствуясь лучшими намерениями, пытается стабилизировать систему с помощью интуитивно понятного рычага, и действительно оказывает на систему очень сильное воздействие, но только совсем не в том направлении, которое нужно! Это лишь один из множества примеров, как системы могут совершенно неожиданно вести себя при попытке их изменить.

В нашем примере одна из проблем состоит в том, что девушка-менеджер реагирует не слишком медленно, как она сама полагает, а наоборот, слишком быстро. При существующей конфигурации системы дилер реагирует слишком

активно. Ситуацию можно улучшить, если вместо того, **чтобы размещать дополнительные** заказы в **два** приема, менеджер начнет делить их на шесть частей, распределяя дополнительные запросы по шести заказам. Результат показан на рис. 36.

Как показывает рис. 36, это изменение позволяет практически полностью погасить колебания, и система довольно быстро приходит к новому равновесию.

Запаздывания и задержки могут очень сильно влиять на системы — во многом они определяют тип поведения систем. **Изменение величины запаздывания может привести к очень серьезным изменениям в поведении системы.** (А может и не привести — в зависимости от типа запаздывания и его величины относительно других запаздываний.)

В нашей системе самое важное запаздывание находится вне ответственности менеджера — на задержку поставки машин с завода-изготовителя она повлиять не в силах.

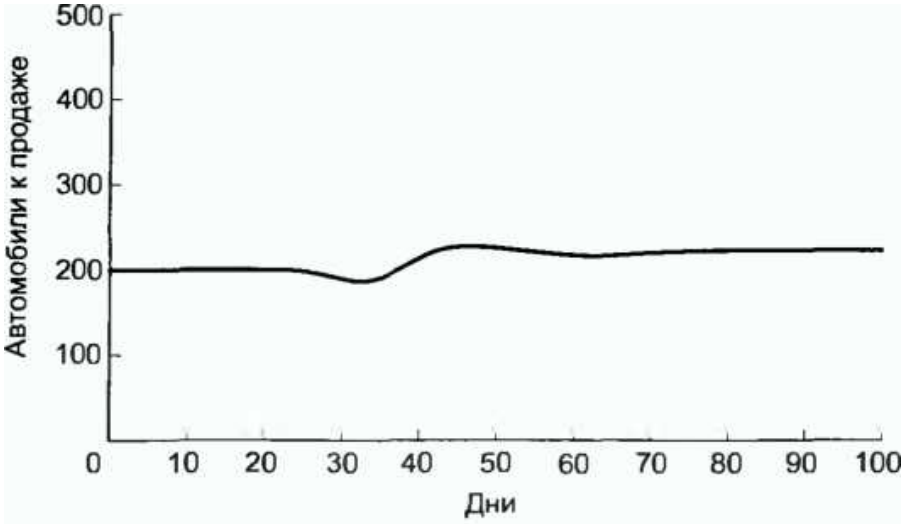


Рис. 36. **Изменение запаса автомобилей на стоянке у дилера, если размещать дополнительный заказ в шесть приемов**

Но даже если не касаться не подвластной ей части системы, все равно она может научиться хирошо управлять своими складскими запасами.

Изменение запаздываний в системе может сделать управление системой либо гораздо более простой, либо гораздо более сложной задачей. Это объясняет, почему многие системные мыслители буквально одержимы проблемой запаздываний. Приходится всегда отслеживать, где в системе есть запаздывания, какой они продолжительности, каков их характер — физический или информационный. В динамическом поведении системы невозможно разобраться, если не знать, где и какие в ней присутствуют запаздывания. К тому же системщики знают, что некоторые запаздывания можно использовать как мощные рычаги воздействия. Увеличение или уменьшение запаздывания может привести к радикальным изменениям в поведении систем.

Проблемы отдельно взятого склада, по большому счету, решить несложно. Но представьте себе масштабы проблем, если речь пойдет обо всех непроданных автомобилях в пределах США. Заказы на большее или меньшее количество автомобилей повлияют не только на производство на сборочных заводах и фабриках, выпускающих запчасти, но также и на сталелитейные производства, предприятия по выпуску резины, стекол, текстиля. Будут затронуты также поставщики и производители энергии. В рамках всей сложной системы встречаются задержки в восприятии, запаздывания в производстве, доставке, сборке... А

теперь подумайте о том, что существует взаимосвязь между производством автомобилей и количеством рабочих мест: чем больше производство, тем больше в нем занято людей, которые затем купят больше машин. Это усиливающий цикл обратной связи, но он может работать и в противоположном направлении: чем меньше производство, тем меньше рабочих мест, тем ниже продажи, и тем меньше в итоге производство. Учтите, что существует еще один усиливающий цикл обратной связи: спекулянты на бирже покупают и перепродают акции автопроизводителей и их поставщиков, основываясь на недавних результатах экономической деятельности этих предприятий, — подъем продаж вызывает рост стоимости акций, в то время как уменьшение продаж приводит к снижению котировок.

Такая очень большая и сложная система связывает между собой различные отрасли промышленности и обладает самыми разными запаздываниями; в ее разных частях могут возникать колебания, они могут распространяться на другие части, усиливаясь в результате действий спекулянтов и из-за других факторов... Так возникает экономическая цикличность с ее взлетами и падениями. Экономические подъемы и спады происходят не по воле президентов и правителей (хотя, конечно, их действия могут увеличить оптимизм во времена подъемов или углубить пессимизм во времена спадов). Экономические системы чрезвычайно сложны; в них огромное количество балансирующих циклов обратной связи с запаздываниями, поэтому им изначально присуща склонность к колебаниям.[16]

Системы с двумя запасами

Невозобновимый запас препятствует использованию возобновимого запаса: экономика нефтяной отрасли

Те системы, что мы изучили ранее, не испытывали противодействия со стороны внешних факторов. Запас капитала в модели промышленной экономики не был увязан с объемами сырья, необходимого для производства продукции. Численность населения не была поставлена в зависимость от производства продовольствия. Наша система с термостатом никогда не испытывала недостатка энергии или топлива для работы обогревателя. Эти системы могли показывать свойственное им поведение, поскольку не было никаких внешних факторов, которые препятствовали бы этому, — ив рсоультатс мы смогли изучить ил внутреннюю динамику.

Однако любая реально существующая система всегда

находится в каком-то окружении и взаимодействует с ним. Любой организации необходимы энергия, сырье, работники, управляющий персонал, клиенты и заказчики. Посадкам зерновых культур нужен полив, удобрения и защита от вредителей. Любой популяции требуются питательные вещества, вода и жизненное пространство, а если речь идет о популяции человеческой, то еще и работа, образование, здравоохранение и масса других вещей. Любому организму или организации, потребляющим энергию и какие-либо виды сырья, необходимо место для захоронения отходов или способ, позволяющий от них избавляться.

Любая физически растущая система рано или поздно столкнется с тем или иным типом ограничения. Подобное ограничение сыграет роль балансирующего цикла обратной связи, который тем или иным образом обратит доминирование усиливающего цикла, ответственного за рост,— либо за счет увеличения потоков на выходе, либо за счет уменьшения потоков на входе в систему.

Рост в среде, которая накладывает свои ограничения, встречается очень часто. Настолько часто, что специалисты по системному мышлению называют это архетипом «пределов роста». (В гл. 5 мы изучим многие другие архетипы — часто встречающиеся системные структуры, демонстрирующие хорошо знакомые типы поведения.) Какой бы ни была система, демонстрирующая рост, —- численность населения, растущая корпорация, сумма на банковском счете, слухи, которые расползаются все шире, эпидемия, продажи нового продукта — всегда есть усиливающие циклы обратной связи, генерирующие рост, и балансирующие циклы, которые в конце концов этот рост ограничат. Мы знаем, что балансирующие петли обратной связи есть, даже в том случае, если они еще не доминируют в поведении системы — все равно ни одна реальная физическая система не может расти бесконечно. Даже самая ожидаемая новинка в один прекрасный день насытит рынок. Цепная реакция в реакторе атомной электростанции или в заряде атомной бомбы рано или поздно прекратится из-за того, что все ядерное топливо будет израсходовано. Распространение вируса рано или поздно остановится, потому что все восприимчивые люди уже будут им инфицированы. Экономика может быть ограничена физическим или монетарным капиталом, емкостью рынка, нехваткой рабочей силы, отсутствием грамотных управленцев, истощением ресурсов, чрезмерным загрязнением окружающей среды...

В физических системах, растущих по экспоненциальному закону, присутствует как минимум один усиливающий цикл обратной связи и как минимум один балансирующий цикл,

ограничивающий рост, — ведь ни одна физическая система в конечной окружающей среде не может расти бесконечно.

Как ресурсы, питающие входные потоки для запаса, могут быть возобновимыми и невозобновимыми, так и ограничение из-за загрязнения среды может быть возобновимым либо невозобновимым. Оно невозобновимо, если у окружающей среды нет возможности поглощать или разлагать загрязнитель. Оно возобновимо, если у среды есть определенная (конечная, хотя и изменяющаяся во времени) способность по переработке отходов. Все, что мы говорим о системах, ограниченных по ресурсам, касается и систем, чья динамика ограничена по возможности переработки отходов, просто в этом случае потоки имеют противоположное направление.

Пределы, налагаемые на растущую систему, могут быть временными или постоянными. Система может каким-то образом выйти за них — на короткое или более продолжительное время — но затем она все равно должна вписаться в допустимые рамки, прийти в соответствие с ограничениями (либо ограничения должны прийти в соответствие с системой, либо они взаимно приспособится друг к другу). Процесс такого приспосабливания имеет довольно интересную динамику.

В зависимости от того, проистекает ли ограничение от возобновимого или невозобновимого ресурса, могут наблюдаться определенные расхождения, но в любом случае рост не может продолжаться вечно — разница лишь в том, как именно он прекратится.

Для начала давайте проанализируем систему капитала, который делает деньги на добыче невозобновимого ресурса, на примере нефтяной компании, которая открыла новое месторождение нефти (структура системы показана на рис. 37).

Схема на рис. 37 может показаться сложной, но она всего лишь описывает систему с растущим капиталом, похожую на те, что мы рассматривали раньше, просто в ней используется «прибыль» вместо «производства продукции». Управляющий цикл амортизации — это хорошо всем знакомый балансирующий цикл обратной связи: чем больше величина производственного капитала, тем больше станков и оборудования изнашивается и приходит в негодность, что уменьшает величину производственного капитала. В этом примере срок службы производственного капитала — оборудования для нефтедобычи и

нефтепе-регонки — составляет 20 лет, то есть ежегодно 1/20 капитала (5%) уходит на амортизацию. Капитал восстанавливает свою величину за счет прибылей, получаемых от добычи нефти. Схема имеет усиливающий цикл: чем больше капитал, тем больше добывается нефти, тем больше прибыль, которую можно реинвестировать. Допустим, компания стремится к ежегодному росту капитала на 5% . Если прибыли недостаточно для обеспечения 5%-го роста, то компания реинвестирует всю прибыль, которой располагает.

Прибыль — это доходы компании за вычетом расходов. Доходы рассчитываются как произведение количества до-

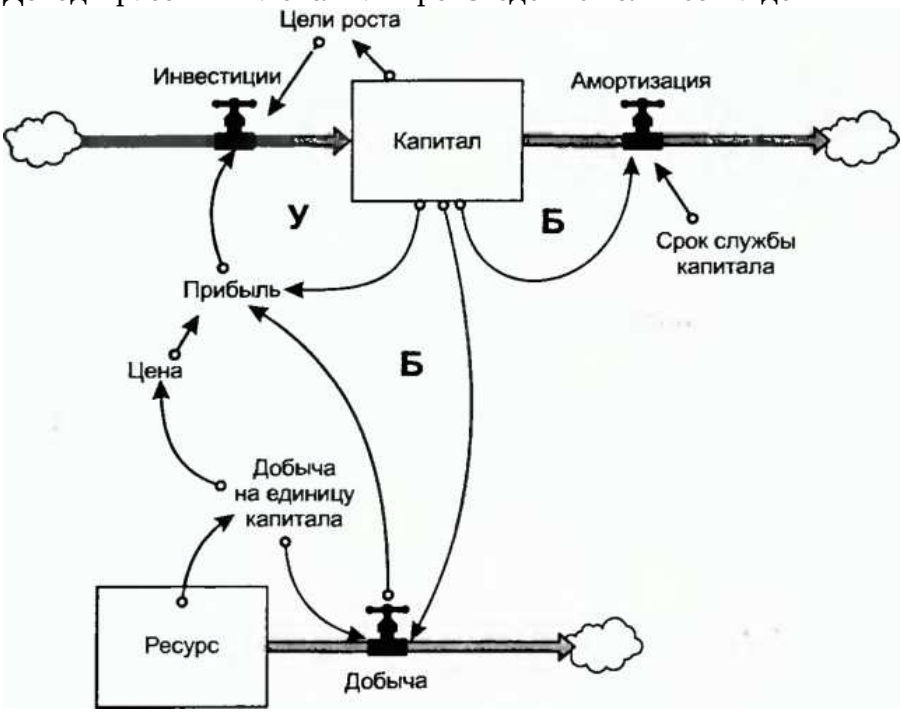


Рис. 37. Производственный капитал, его усиливающий цикл обратной связи, ограничиваемый невозобновимым ресурсом

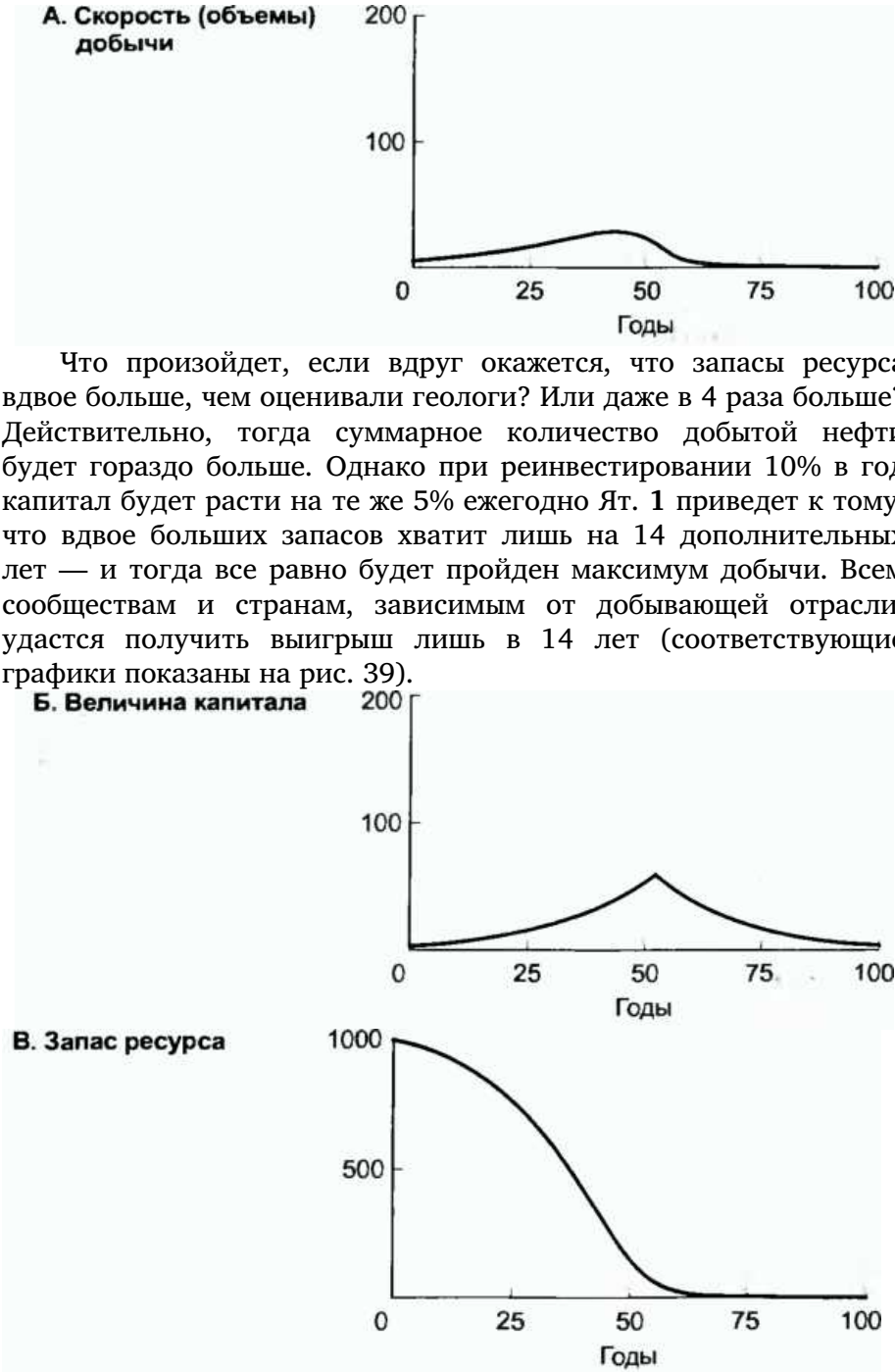
бытой нефти на ее рыночную цену. Расходы рассчитываются как затраты капитала на добычу (энергию, рабочую силу, различные виды сырья, необходимого для работы, и т. п.). Расчеты ведутся на единицу производственного капитала. Ради упрощения можно считать цену и затраты на единицу капитала постоянными.

В отличие от них, добыча нефти на единицу капитала совсем не обязательно постоянна. Поскольку ресурс нево-зобновим (нефть в природе не восполняется), то у запаса отсутствует

входной поток. По мере выработки месторождение истощается, нефти становится меньше, и каждый последующий баррель добыть все труднее, он обходится все дороже. Оставшаяся нефть залегает глубже, ее месторождения беднее и более разрозненны; падает и давление, которое позволяет поднимать нефть на поверхность. Чтобы поддержать добычу на прежнем уровне, приходится прибегать ко все более изощренным и дорогостоящим техническим методам.

Таков балансирующий цикл обратной связи, и он в конце концов остановит рост капитала. Чем больше капитал, тем выше скорость добычи. Чем выше скорость добычи, тем меньше становится запас. Чем меньше запас, тем меньше добыча нефти на единицу капитала, тем меньше прибыль (если принять цену неизменной) и тем ниже объем реинвестирования, поэтому рост капитала замедляется. Можно сказать, что истощение ресурса увязано через цикл обратной связи с затратами на добычу и с эффективностью работы капитала. В реальной жизни действительно сказываются оба фактора. В обоих случаях модель последующего поведения одна и та же — классическая динамика истощающегося ресурса (графики показаны на рис. 38).

Система поначалу не испытывает недостатка в нефти — ее в подземных месторождениях вполне достаточно, чтобы поддерживать начальные объемы добычи на протяжении 200 лет. Однако максимум добычи нефти приходится лишь на сороковой год, поскольку объемы добычи растут по экспоненциальному закону. При реинвестировании порядка 10% в год величина капитала и скорость добычи растут примерно на 5% в год, и через 14 лет они уже вдвое превышают начальные значения. Через 28 лет величина капитала больше первоначальной уже в 4 раза, но теперь рост добычи замедляется, поскольку добыча на единицу капитала становится меньше. К пятидесятому году затраты на поддержание производственного капитала уже превышают получаемые доходы от добычи нефти, и прибылей теперь не хватает на реинвестирование и покрытие амортизации. При уменьшении капитала деятельность компании быстро приходит в упадок. Остатки ресурса — последняя, самая дорогая нефть — так и остаются под землей, потому что никто не может позволить себе такие расходы, какие нужны для ее добычи.



Что произойдет, если вдруг окажется, что запасы ресурса вдвое больше, чем оценивали геологи? Или даже в 4 раза больше? Действительно, тогда суммарное количество добытой нефти будет гораздо больше. Однако при реинвестировании 10% в год капитал будет расти на те же 5% ежегодно Ят. **1** приведет к тому, что вдвое больших запасов хватит лишь на 14 дополнительных лет — и тогда все равно будет пройден максимум добычи. Всем сообществам и странам, зависимым от добывающей отрасли, удастся получить выигрыш лишь в 14 лет (соответствующие графики показаны на рис. 39).

Рис. 38. Добыча ресурса (А) позволяет получить прибыль, которая вкладывается в рост капитала (Б), однако параллельно с этим происходит истощение невозобновимого ресурса (В). Чем больше величина капитала, тем быстрее истощается ресурс

Величина, растущая по экспоненциальному закону, достигает предела или сталкивается с ограничением удивительно быстро.

Чем больше и быстрее рост, тем быстрее и резче будет падение — это верно для всех запасов капитала, зависящих от невозобновимого ресурса. Поскольку рост объемов добычи имеет экспоненциальный характер, удвоение начальных запасов невозобновимого ресурса или даже их увеличение в 4 раза даст лишь незначительный выигрыш во времени, за которое нужно найти ресурсу достойную замену.

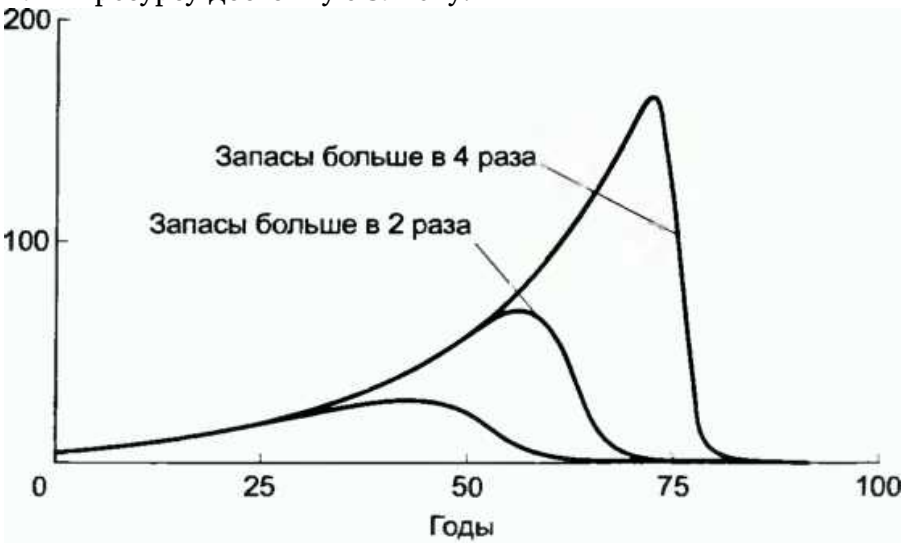


Рис. 39. **Добыча ресурса при условии, что его запасы оказываются в 2 и в 4 раза больше, чем оценивалось вначале. Каждое увеличение запасов ресурса вдвое означает лишь отсрочку приблизительно на 14 лет, а затем все равно будет пройден максимум добычи и начнется спад**

Если вас заботит только задача извлечь как можно больше ресурсов и зарабитать иа атим как мижно быстрее, тогда суммарные запасы ресурса становятся ключевым параметром системы. Для шахтера или нефтяника это будет означать, как быстро он потеряет работу и насколько (нестабильной будет жизнь местного сообщества. Для тех, кто думает о завтрашнем дне, ключевое значение имеют уже два параметра: суммарные запасы ресурса и желаемая скорость роста капитала. (Это хороший пример того, как цель обратной связи в системе оказывает определяющее влияние на ее поведение.) Для тех, кто управляет добычей невозобновимого ресурса, вопрос стоит так: обогатиться ли максимально быстро или получать доходы в

меньшем количестве, зато более продолжительное время?

График на рис. 40 показывает изменение скорости (объемов) добычи со временем, при этом сравниваются варианты с разными скоростями роста капитала — 1%, 3%, 5% и 7% в год (имеется в виду превышение инвестирования над амортизацией). При ежегодном росте порядка 7% максимум добычи достигается уже через 40 лет, хотя раньше считалось, что ресурса хватит на 200 лет.

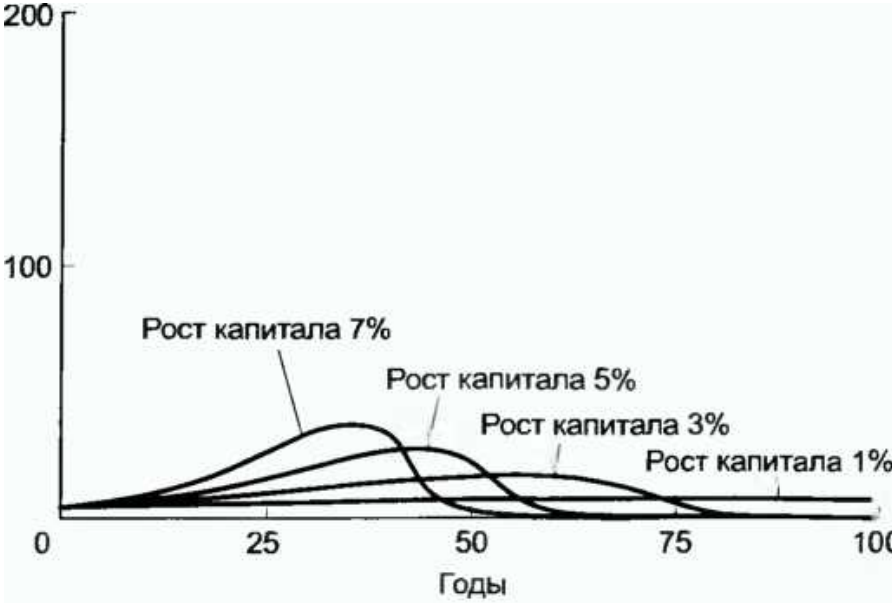


Рис. 40. Система проходит максимум в добыче ресурса тем быстрее, чем большая доля прибылей реинвестируется в увеличение капитала

А теперь оцените не только перспективы получения прибылей в компании, по и социальные последствия в регионе, и неизбежно возникающие проблемы с защитой окружающей среды...

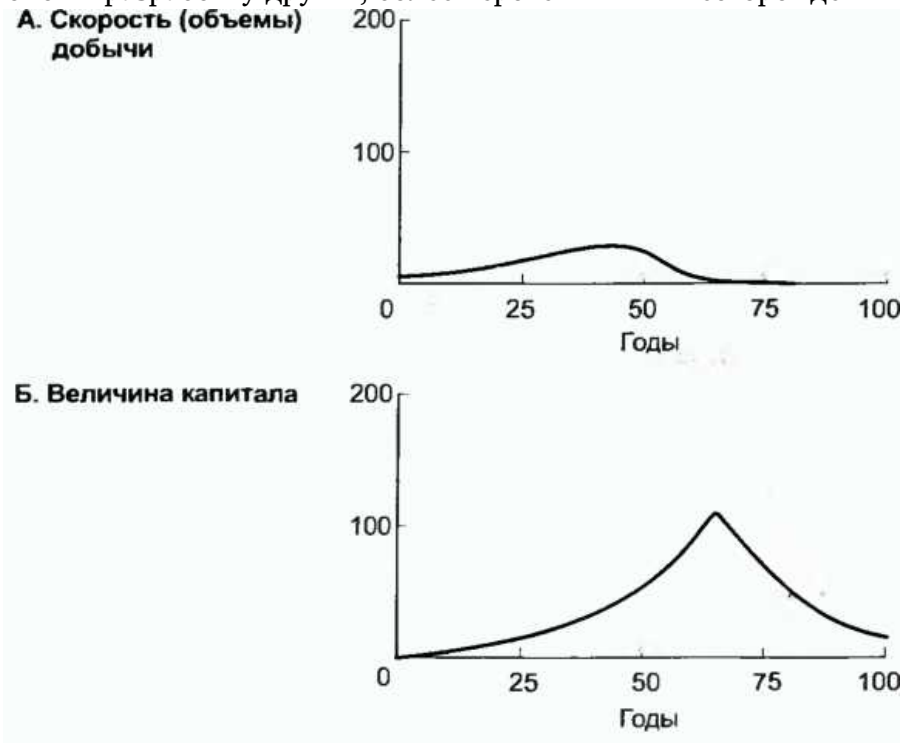
Раньше мы исходили из предположения о том, что цена на нефть будет неизменной. Но что, если это не так? Ресурс вполне может быть для потребителей настолько важным, что рост цены не уменьшит спроса на него. В этом случае по мере истощения ресурса он будет обходиться потребителям все дороже (это показано на рис. 41).

Более высокие цены дают добывающей отрасли больше прибылей, объемы реинвестирования растут, капитал продолжает рост дольше и достигает более высокого значения, позволяя извлекать остатки ресурса даже при более высокой стоимости добычи. Если вы сравните графики на рис. 41 с графиками на рис. 38, где цена была постоянной, то увидите, что основное следствие

увеличения цены — достижение капиталом большей величины перед тем, как он неизбежно начнет уменьшаться.

Точно таким же, кстати говоря, поведение будет и в том случае, если цены не растут, но зато снижаются затраты на добычу за счет развития технологий. Имеется в виду применение новых способов для восстановления давления в нефтяных скважинах, обогащение железных руд с малым содержанием целевых компонентов (их разработка раньше считалась нерентабельной), извлечение золота и серебра из самых бедных отходов и хвостов цианидным методом.

Все мы знаем, что отдельно взятые шахты, месторождения полезных ископаемых и водоносные горизонты могут истощаться. Подтверждением тому служат опустевшие города шахтеров и нефтяников, разбросанные по всему миру, — все это последствия одного и того же типа системного поведения. Добывающие компании тоже осознают такую динамику. Задолго до того, как истощение ресурса приводит к неэффективной работе капитала ь идний зоне, компании начинают перенаправлять инвестиции на поиск и разработку других, более перспективных месторожде-



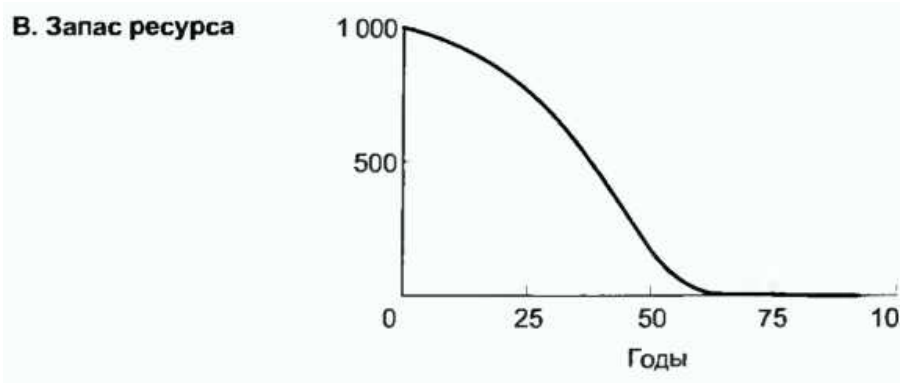


Рис. 41. По мррр дпйнчи **(А)** и игтттния **ресурса (В) его пена растет, прибыль увеличивается, реинвестируется больше средств, а следовательно, тем значительнее становится капитал (Б), возрастая в течение более продолжительного периода**

ний. Но ведь если существуют локальные ограничения, то должны же быть пределы и в глобальном масштабе?

Поразмыслите над этим сами или попробуйте устроить обсуждение с кем-нибудь, кто придерживается противоположной точки зрения. Я лишь подчеркну, что для любой динамики истощения невозобновимых ресурсов верно утверждение: чем больше исходный запас ресурсов, чем больше открывается новых месторождений, чем дольше циклам, ответственным за рост, удается действовать до достижения ограничений, чем больший капитал будет накоплен и чем быстрее будет извлекаться ресурс, тем раньше наступит экономический спад и тем быстрее и резче он будет после того, как максимум пройден.

Если только, конечно, экономика к тому времени не перейдет на возобновимые источники.

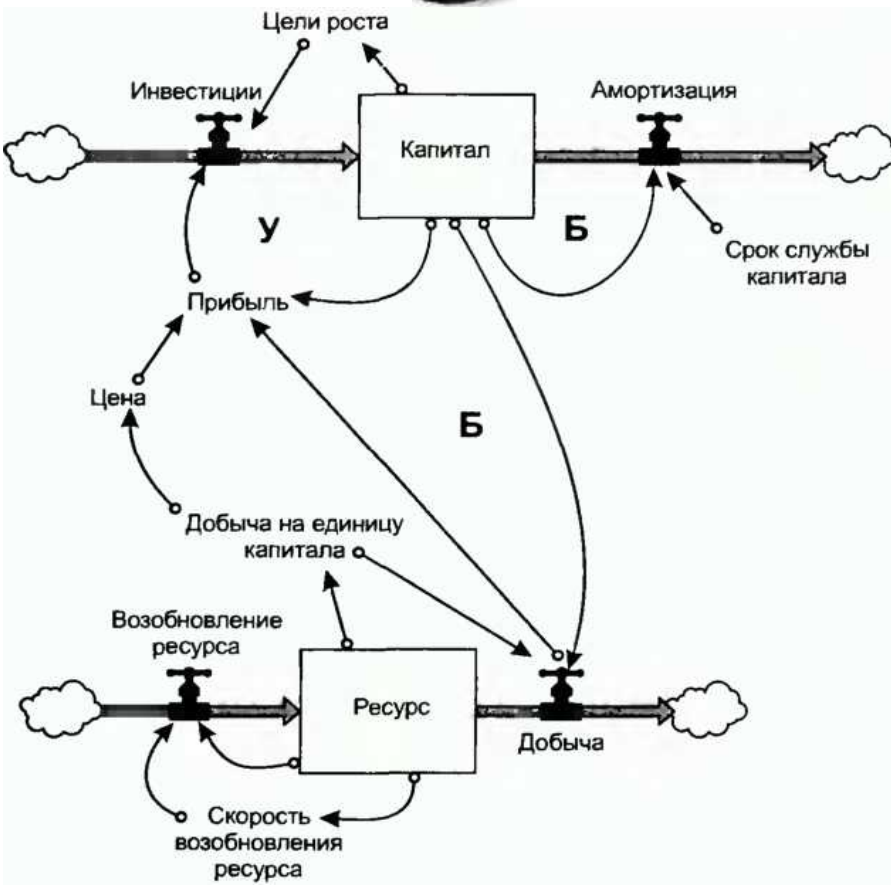
Использованию возобновимых запасов препятствуют ограничения самих возобновимых запасов: экономика рыболовецкой отрасли

Пусть капитал остается таким же, как и в прошлом случае, однако теперь к системе добавится входной поток, пополняющий запасы ресурса, — теперь мы рассмотрим возобновимый ресурс. Примером возобновимого ресурса могут быть запасы промысловой рыбы. Производственным капиталом в этом случае будут суда рыболовецкого флота. Возобновимым ресурсом можно считать строевой лес с лесопильными заводами, пастбища и

животноводческие фермы... Возобновимые ресурсы, относящиеся к живой природе — рыба, леса, пастбищные травы — могут воспроизводить сами себя в соответствии с усиливающим циклом обратной связи. Возобновимые ресурсы, не относящиеся к живой природе — солнечный свет, ветер, гидроресурсы — возобновляются не из-за усиливающего цикла обратной связи, а благодаря постоянному притоку, пополняющему запасы ресурса независимо от того, какова их величина в настоящее время. Такая же «структура возобновляемого ресурса» свойственна и эпидемиям простудных вирусных заболеваний. Их жертвы выздоравливают, чтобы в будущем в какой-то момент снова подхватить простуду. Продажи тех видов продукции, в которых потребители нуждаются постоянно, тоже своего рода системы возобновимого ресурса: количество потенциальных потребителей постоянно возобновляется. Даже нашествие насекомых, поедающих растения не целиком, а лишь частично, тоже носит такой характер: растение затем регенерирует, и насекомым снова есть чем питаться. Во всех перечисленных случаях существует входной поток, пополняющий запасы ресурса, — это отражено на рис. 42.

Будем использовать в качестве примера рыболовецкую отрасль. Снова положим срок службы капитала равным 20 годам, и отрасль будет стремиться расти со скоростью 5% в год. Как и с невозобновимыми ресурсами, предположим, что цена будет расти тем сильнее, чем меньше остается ресурса, то есть чем дороже обходится его добыча. Чтобы выловить оставшиеся разрозненные косяки рыбы, необходимы большие рыболовецкие траулеры: они оснащены эхолотами для поиска рыбы, их можно направить даже к самым удаленным местам лова. Либо придется использовать огромные, многокилометровые дрифтерные сети. Либо необходимы сейнеры-рефрижераторы, чтобы выловленную рыбу можно было замораживать прямо на борту и затем доставлять на большие расстояния. Все это ведет к очень большим затратам.

Скорость возобновления рыбных ресурсов — не постоянная величина: она зависит от количества рыбы в определенной зоне, точнее, от плотности рыбной популяции. Если плотность популяции слишком велика, то скорость воспроизводства падает почти до нуля — ограничивающими факторами выступают доступная пища и место обитания. Если популяция рыбы меньше, то воспроизводство идет более быстрыми темпами, поскольку в экосистеме остается больше свободного места и доступно больше питательных веществ, которыми можно воспользоваться. Существует определенное значение плотности, при кото-



ресурса

Рис. 42. Производственный капитал с усиливающим циклом обратной связи ограничивается возобновимым ресурсом

ром скорость воспроизводства максимальна. Если же плотность совсем низка, то воспроизводство не только не ускоряется, а наоборот, снижается еще больше — из-за того, что особи не могут найти партнеров для размножения, либо потому, что соответствующую экологическую нишу уже занял какой-то другой биологический вид.

Такая упрощенная модель экономики рыболовецкой отрасли имеет три нелинейных управляющих зависимости: цена (чем меньше остается рыбы, тем дороже обходится ее вылов); скорость воспроизводства (если плотность популя

ции рыбы недостаточна или наоборот, слишком высока, то скорость воспроизводства низка); добыча на единицу капиталовложений (характеризующая общую эффективность технологий и способов лова).

Такая система может демонстрировать самые разные типы поведения. На рис. 43 показан один из них.

Из графиков на рис. 43 видно, что поначалу капитал и объемы вылова экспоненциально растут. Популяция рыбы (запас ресурса) уменьшается, однако за счет этого возрастает скорость воспроизводства. На протяжении целых десятилетий ресурс может поддерживать экспоненциально растущие объемы лова. Однако в какой-то момент вылов превышает допустимый предел, и популяция рыбы становится слишком мала, чтобы лов был экономически целесообразен. Рыболовецкий флот перестает окупаться. Балансирующий цикл обратной связи через снижение улова и последующее уменьшение прибылей быстро приводит к уменьшению инвестиций в производственный капитал, что приводит размеры рыболовецкого флота в соответствие с остающимися рыбными запасами. Флот не может расти бесконечно, хотя существует принципиальная возможность достичь высокого, стабильного уровня вылова и поддерживать его сколь угодно долго.

Однако даже небольшое изменение в силе воздействия управляющего цикла на добычу, приходящуюся на единицу капитала, может вызвать резкие изменения в поведении системы. Предположим, что рыболовецкая отрасль, пытаясь увеличить улов, разработает более эффективные технологии и оснастит новым оборудованием все суда (например, установит эхолоты, позволяющие отыскивать даже разрозненные косяки рыбы). В этом случае популяция рыбы будет уменьшаться быстрее, но, несмотря на это, улов будет поначалу даже выше, чем в предыдущем случае. Однако и максисум будет пройден быстрее, и последствия окажутся тяжелее (рис. 44).

Из рисунка видно, как принцип рычага применяется там, где его не следует применять! Технологическое усо-

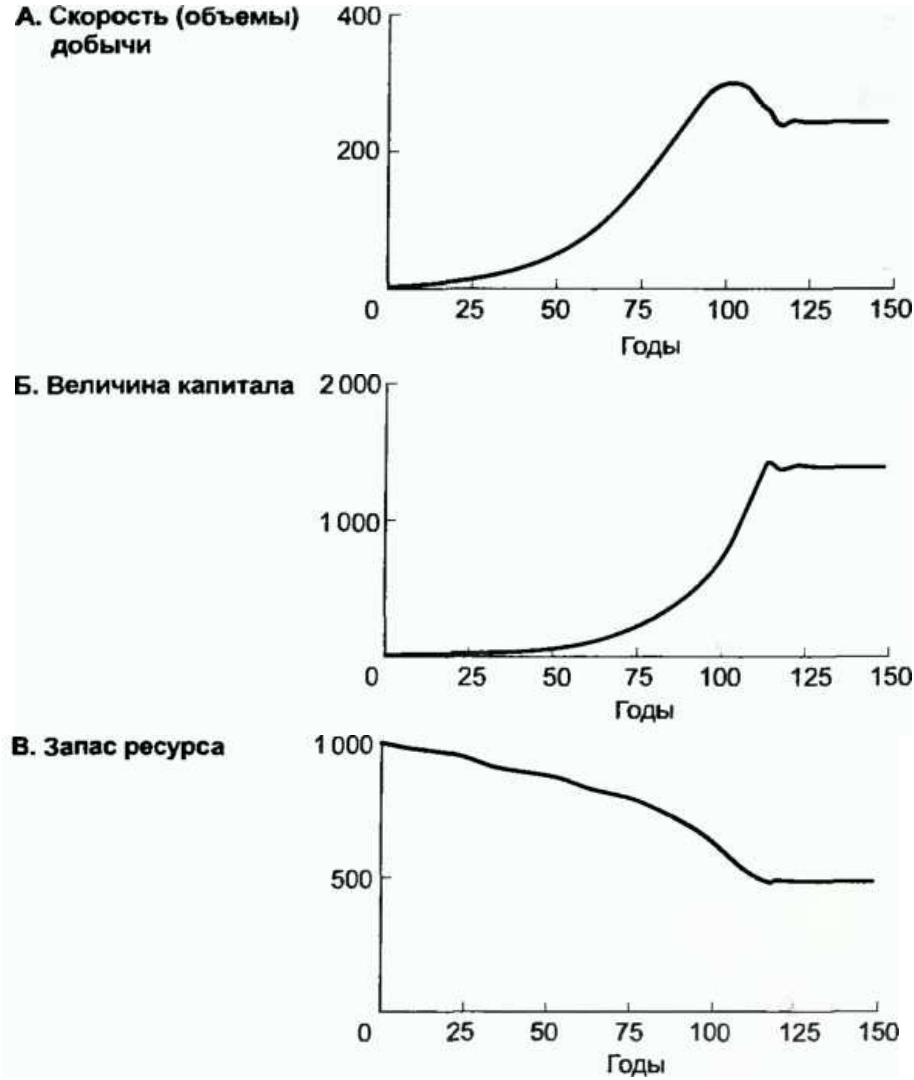


Рис. 43. Годовой улов (А) позволяет получить прибыль, которая, в свою очередь, позволяет увеличить производственный капитал (Б). После незначительного выхода за предел объемы вылова стабилизируются на определенном значении. Постоянный объем вылова приводит к тому, что запасы ресурса (В) также стабилизируются на определенном значении

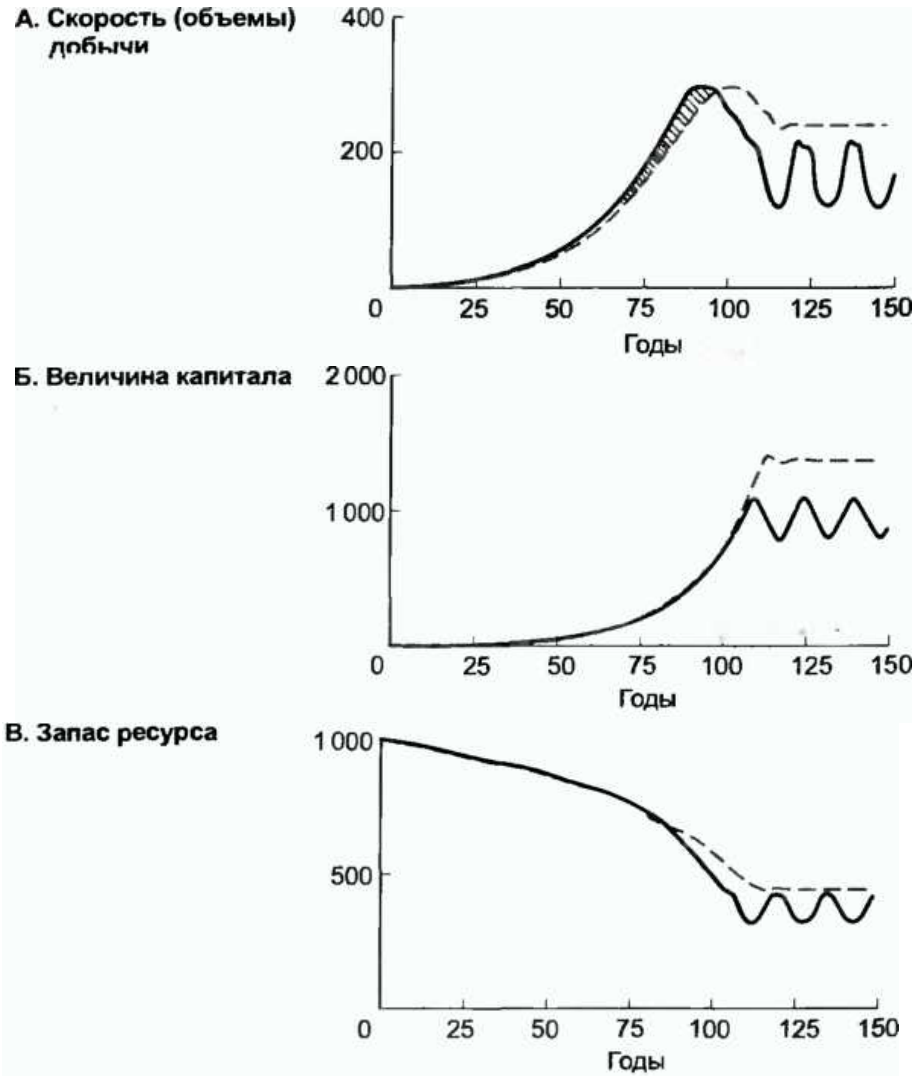


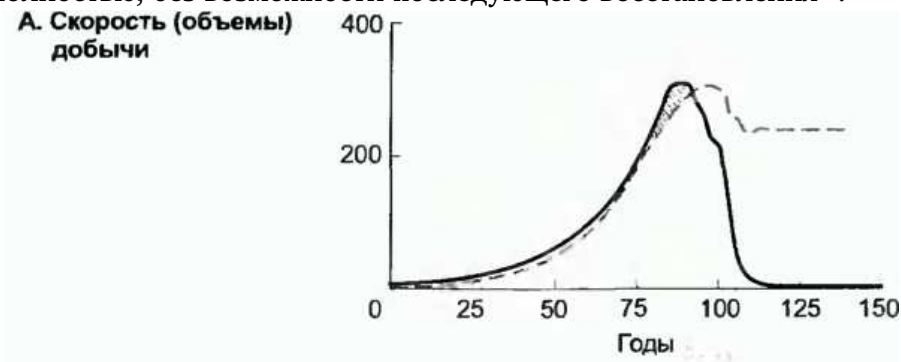
Рис. 44. Небольшое увеличение улова на единицу капитала (заштрихованная область) — в данном случае достигаемое за счет более эффективных технологий лова — приводит к совершенно иной модели поведения: сначала происходит существенный выход за пределы, затем колебания около некоей стабильной величины вылова (А), запаса производственного капитала (Б) и запаса самого рыбного ресурса (В)

вершенствование, которое, казалось бы, должно привести рыболовецкую отрасль к процветанию, на самом деле ведет систему к нестабильности. Возникают колебания.

Если технологии будут совершенствоваться и дальше, то суда смогут вести лов с приемлемой рентабельностью даже при очень

низкой плотности рыбной популяции. Результатом может стать практически полное истощение рыбного ресурса (рис. 45) и, вслед за этим, распад самой рыболовецкой отрасли. Последствия этого для морских экосистем подобны процессам опустынивания на суше. Руководствуясь исключительно практическими соображениями, рыбный ресурс из возобновимого превратили в невозобновимый! В некоторых регионах планеты так и произошло.

Во многих экономических системах, основанных на реально существующих возобновимых ресурсах, — в отличие от нашей сильно упрощенной теоретической модели — даже очень небольшая оставшаяся популяция потенциально может разрастись и восстановить свою прежнюю численность при условии, что производственный капитал исчез и ловля прекратилась. Тогда тот же самый тип поведения может повториться спустя десятилетия. Подобные очень продолжительные циклы восстановления после практически полного истощения ресурса наблюдались, например, в деревообрабатывающей промышленности Новой Англии (США) — в настоящее время идет уже третий цикл, состоящий из последовательных этапов роста, чрезмерной вырубки, упадка отрасли и последующего продолжительного периода восстановления. Но так может происходить далеко не со всеми популяциями. Чем совершеннее технологии добычи, чем выше их эффективность, тем больше риск того, что ресурс будет исчерпан полностью, без возможности последующего восстановления[17].



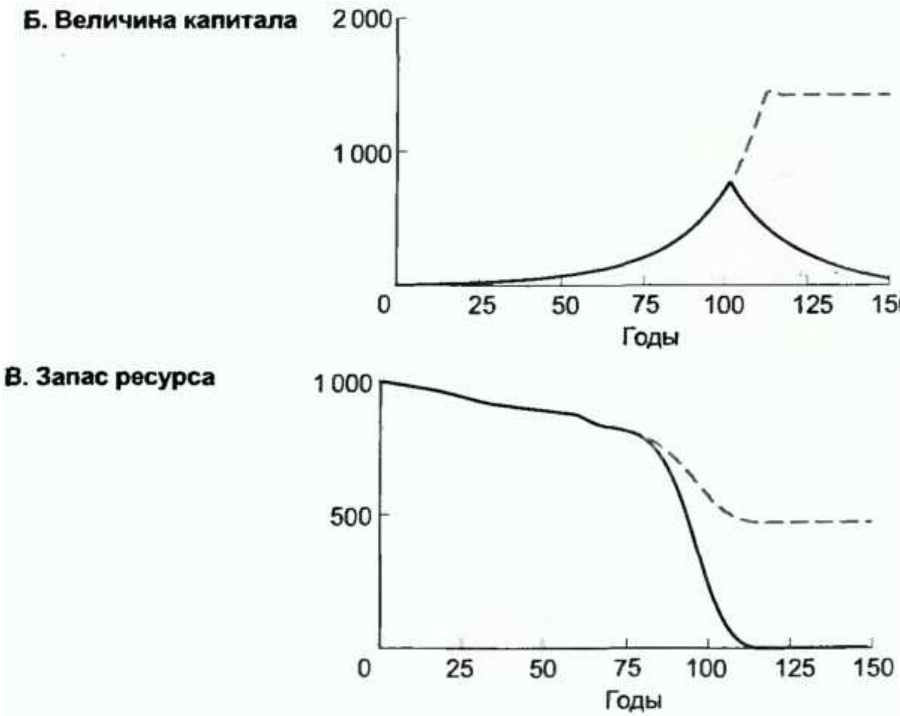


Рис. 45. **Дальнейшее увеличение улова на единицу капитала приводит к выходу системы за пределы, падению объемов вылова (А) до нуля и последующему исчезновению производственного капитала (Б). Рыбного ресурса** (В) **как такового больше не существует**

Невозобновимые ресурсы ограничены *объемами запасов.* Имеющиеся запасы можно израсходовать лишь один раз. Их можно извлекать с любой скоростью (как правило, ограниченной только величиной капитала добывающей отрасли). Однако из-за того, что ресурс нево-зобновим, запасы не восполняются, и чем выше скорость добычи, тем меньше срок, на который хватит этого ресурса.

Возобновимые ресурсы ограничены *скоростью воспроизводства.* Они могут поддерживать добычу или улов неограниченно долго, но только в конечных пределах, определяемых скоростью возобновления. Если ресурс извлекается быстрее, чем возобновляется, то в определенный момент он может достичь критического предела и превратиться в невозобновимый с практической точки зрения ресурс.

Может ли возобновимый ресурс в принципе восстановиться после чрезмерного использования, зависит от того, *что* происходит в тот период, когда ресурс уже сильно истощен. Слишком маленькая популяция рыбы будет очень уязвима перед неблагоприятными факторами: загрязнениями, штормами, нехваткой генетического разнообразия... Если речь идет о лесах или пастбищных угодьях, то обнажившиеся почвы могут быть окончательно разрушены эрозией. Опустевшие экологические ниши могут оказаться занятыми конкурирующими биологическими видами. Лишь в некоторых случаях истощенный ресурс имеет потенциал для выживания и самовосстановления.

Существует три варианта поведения систем, основанных на возобновимом ресурсе:

■ выход за пределы с последующим возвращением к устойчивому динамическому равновесию;

■ выход за пределы с последующими колебаниями около равновесного значения;

■ выход за пределы, приводящий к полному истощению ресурса и, соответственно, к упадку и исчезновению отрасли, основанной на этом ресурсе.

Какой вариант реализуется на практике, зависит от двух факторов. Первый — это пороговое значение, после которого способность популяции к восстановлению уже необратимо утрачена. Второй — скорость и эффективность работы балансирующего цикла обратной связи, который замедляет рост капитала по мере истощения ресурса. Если обратная связь срабатывает достаточно быстро и успевает остановить рост капитала до того, как будет пройдено пороговое значение, то система постепенно придет к равновесию. Если балансирующий цикл работает медленно и недостаточно эффективно, то в системе возникнут колебания. Если же балансирующий цикл слаб и совсем неэффективен, тогда капитал будет расти даже тогда,

когда ресурс истощится и когда будет утрачена всякая возможность восстановления. В этом случае перестанет существовать и ресурс, и связанная с ним отрасль.

Физический рост не может продолжаться бесконечно. Его ограничивают пределы, налагаемые и возобновимыми, и невозобновимыми ресурсами. Но на динамике систем эти ограничения сказываются по-разному, поскольку различия могут быть и в запасах, и в потоках.

Вся сложность в том, как распознать в системе структуры, в которых изначально заложены подобные типы поведения, и условия, в которых они проявятся. Это непростая задача для любых сложных систем. Итоговая цель еще сложнее: изменить эти структуры и условия таким образом, чтобы уменьшить вероятность разрушительного поведения и обеспечить все возможности для благоприятного развития событий.

ЧастьII

Системы и люди

Глава 3. Почему системы так эффективны
Глава 4. Почему поведение
систем бывает таким неожиданным
Глава 5. Системные ловушки и возможности
3 ГЛАВА

Почему системы так эффективны

Если почвенные механизмы хорошо работают как единое целое, значит, и каждая их часть хороша, и неважно, насколько детально мы в них разбираемся.

Биоте удалось за миллионы лет построить нечто, что нам очень нравится, но в чем мы почти ничего не понимаем, поэтому избавляться от частей, которые нам кажутся бесполезными, — чудовищная глупость. Надо действовать подобно опытному часовому мастеру:

прилежно сохранять все, даже самые мелкие, детали и винтики.

*Олдо Леопольд *, эколог*

Во второй главе мы познакомились с простыми системами, чье поведение определяется их структурой. Некоторые из них не лишены своеобразия; им удается выдерживать самые разные удары судьбы, в определенных пределах они могут восстанавливаться и возвращаться к выполнению своей задачи — поддержанию заданной температуры в помещении, разработке нефтяного месторождения вплоть до его истощения, приведению размеров рыболовецкого флота в соответствие с продуктивностью рыбного ресурса.

***Aldo Leopold.* Round River. New York: Oxford University Press, 1993.**

Если внешнее воздействие слишком сильно, системы могут демонстрировать пс наблюдавшееся ранее поведение или вообще распадаться на части. Но в общем и целом системы справляются со своими задачами вполне успешно В этом и кроется притягательность систем: они могут быть очень эффективными. Когда система работает хорошо, мы видим в ее действиях гармонию и согласованность. Вспомните, как работают бригады спасателей, без промедления бросающиеся на борьбу со стихийными бедствиями. Люди слаженно работают многие часы

без передышки, чтобы помочь пострадавшим, проявляют лучшие человеческие качества и профессиональные навыки. Когда же ситуацией удается овладеть, жизнь возвращается в обычное русло.

Почему же системы так эффективны? Давайте рассмотрим свойства сложных систем — больших сообществ людей, экосистем, сложных машин — тех, что знакомы каждому. Особенно важно уметь выделять три основных качества, свойственных системам: устойчивость к внешним воздействиям, способность к самоорганизации и иерархическое строение.

Устойчивость к внешним воздействиям

Если поместить систему в тепличные условия, она может стать хрупкой и неустойчивой.

К. С. Холлинг, эколог*

Устойчивость к внешним воздействиям можно называть по-разному — гибкостью, упругостью, эластичностью системы, в зависимости от того, термины какой области знаний мы используем. Для наших целей достаточно самых простых определений: «Способность восстановить свою форму, вернуться в исходное положение и состояние после внешнего воздействия. Приспособляемость. Способность быстро восстановить силы, образ действий, настрой и дру-

C. S. *Hotting, ed.,* Adaptive Environmental Assessment and Management. Chichester UK: John Wiley & Sons, 1978. 34.

гие качества». Устойчивость и упругость — способность системы выдерживать различные внешние условия и продолжать существовать в изменчивом окружении. Противоположные качества — хрупкость и жесткость.

Способность выдерживать внешние воздействия возникает благодаря сложной структуре многочисленных обратных связей, которые могут разными способами восстанавливать систему даже после сильных потрясений и возмущений. Отдельно взятый балансирующий цикл обратной связи уже способен приводить запас в системе к какому-то конкретному значению. Устойчивость обеспечивается несколькими такими циклами, работающими за счет разных механизмов, в разных временных масштабах и с большой надежностью — если даже какой-то из циклов не сработает, вместо него начнет действовать другой.

Набор петель обратной связи, который позволит *восстановить* или *построить* заново в системе сами *циклы обратной связи,* — это устойчивость на более высоком уровне,

сверхустойчивость, если угодно. Существует даже ультрасверхустойчивость, возникающая на основе обратных связей, которые могу самонастраиваться, *иметь намерения, обучаться, создавать* и *эволюционировать* в еще более сложные структуры, способные к самовосстановлению. Системы, умеющие все это, обладают способностью к самоорганизации — это второе удивительное качество, характерное для систем; о нем мы поговорим позже.

Человеческий организм — пример поразительно устойчивой системы. Он может успешно отражать тысячи самых разных атак и посягательств, выдерживать широкий диапазон температур, потреблять самую разную пищу. Он умеет перераспределять кровоток, заживлять порезы и царапины, ускорять или замедлять обмен веществ, в определенных пределах компенсировать повреждения частей тела и даже их потерю. Добавьте к этому самоорганизующуюся способность к пониманию, интеллект, позволяющий человеку учиться, быть частью общества, разрабатывать технологии и даже пересаживать органы... В результате вы получите необычайно устойчивую систему, хотя, конечно, ее способность переносить внешние воздействия не безгранична. Ибо никакой человеческий организм (в сочетании с любым, даже самым продвинутым интеллектом) не сможет избежать умирания. Рано или поздно смерть настигает любое живое существо.

У (лшеобнисти иии■ кглы к иамовоиитанивиепши к устойчивости всегда есть пределы.

Экосистемы тоже обладают впечатляющей устойчивостью и упругостью. Множество разных видов организмов контролируют друг друга, перемещаются в пространстве, увеличивают или уменьшают численность в зависимости от доступности питательных веществ, от погодных условий, в ответ на антропогенное воздействие. Популяции и экосистемы тоже имеют способность «учиться» и развиваться за счет своего невероятно богатого генетического разнообразия. Если дать им достаточно времени, они могут порождать совершенно новые системы, используя в изменчивых условиях любые возможности для поддержания жизни.

Устойчивость вовсе не синоним неподвижности или постоянства. Устойчивые системы могут быть очень динамич ными. Для них могут быть характерны кратковременные

колебания, периодические выходы за пределы, постепенная смена сообществ (сукцессия), достижение климаксно-го сообщества, стабильные стадии, даже упадок — все это может быть нормальными проявлениями системы, если она обладает упругостью, способностью восстанавливаться.

Неизменные, постоянные во времени системы, напротив, могут быть очень хрупкими. Различие между неподвижной стабильностью и динамической устойчивостью очень важно. Статичную стабильность можно увидеть. Ее параметры можно измерить в любой момент времени — сейчас, черег неделю, через год. Упругость и способность переносить внешние воздействия разглядеть необычайно трудно, если только вы не превысите пределы устойчивости, не повредите балансирующие циклы и не разрушите всю структуру системы. Из-за того, что устойчивость неочевидна (если только вы не используете системный подход), люди часто пренебрегают ею и стремятся достичь видимой стабильности, производительности или других легко узнаваемых характеристик и качеств системы.

* Если вводить коровам генетически модифицированный коровий гормон роста, можно поднять надой молока, не увеличивая при этом количество фуража. Гормон позволяет перенаправить часть энергии обмена веществ с других функций организма на выработку молока. (Скотоводы многие века стремились к той же цели и во многом преуспели, но только не в такой степени.) За возросшие надои приходится расплачиваться уменьшением устойчивости. Коровы становятся больше подверженными заболеваниям, более зависимыми от действий человека, средняя продолжительность их жизни уменьшается.

■ Поставка продукции в магазины или комплектующих на сборочные заводы по принципу «точно в срок» позволяет самым разным отраслям уменьшить проблемы со складским хранением и сэкономить большие средства. Но одновременно с этим метод «точно в срок» делает систему более уязвимой, чувствительной к перебоям в поставках, зависимой от транспортных потоков и пробок, компьютерных сбоев, доступности рабочей силы и других факторов.

■ Интенсивное сведение лесов в Европе в течение сотен лет постепенно привело к тому, что исходные экосистемы уступили место плантациям монокультур, посадкам одновозрастных, часто чужеродных деревьев. Такие леса при любых условиях должны давать древесину и целлюлозу. Но из-за того, что в них нет множества разных видов, взаимодействующих между собой, извлекающих из почвы и возвращающих в нее различные питательные вещества, такие леса утратили устойчивость. Они

совершенно беззащитны перед новой формой воздействия: промышленным загрязнением воздуха.

Многие хронические заболевания, включая порок сердца и рак, возникают из-за сбоев в механизмах, обеспечивающих устойчивость: восстанавливающих структуру ДНК, поддерживающих гибкость кровеносных сосудов, управляющих делением клеток и т. д. Многие экологические катастрофы происходили из-за утраты устойчивости, что было следствием исчезновения видов, нарушения химических и биологических процессов в почве, загрязнения токсичными веществами. Большие организации любого типа, от корпораций до правительств, утрачивают устойчивость просто потому, что механизмы обратных связей, благодаря которым они получают информацию и реагируют на окружающие условия, должны преодолеть слишком много последовательных запаздываний и искажений. (Еще чуть позже мы перейдем и к образованию иерархии.)

Можно рассматривать устойчивость как надежное основание, на которое система может опираться, чтобы вести свою обычную деятельность в относительной безопасности. У устойчивых систем основание больше, они располагают большим пространством для маневра, причем границы этого пространства мягкие, эластичные: если система подходит к опасному краю, они бережно отталкивают ее обратно. Когда система утрачивает упругость и устойчивость, размеры надежного основания сжимаются, защитные границы становятся ниже и тверже, система начинает балансировать на грани, и еще неизвестно, в какую сторону ей придется падать. Утрата устойчивости может оказаться неожиданной, поскольку сама система обычно уделяет все внимание своим действиям, а не причинам, кото-

Системами нужно управлять, уделяя внимание не только производительности или стабильности. Необходимо поддерживать их устойчивость и упругость — способность выдерживать внешние воздействия и успешно восстанавливаться после них.

рые лежат в их основе. В один прекрасный день система выполнит обычные действия, которые раньше проделывали многократно, но на сей раз они приведут к ее разрушению. Представление об устойчивости позволяет нам сохранять и даже развивать в системах их собственные восстановительные возможности, причем для этого есть масса способов. Именно

такие знания лежат в основе органического земледелия, набирающего популярность в сельском хозяйстве: для сдерживания численности сельскохозяйственных вредителей используются их природные враги, естественные хищники. Представление о здоровье как едином целом позволяет врачам не просто лечить болезни, но и восстанавливать естественные защитные функции организма, внутреннюю сопротивляемость пациента заболеваниям! Понимание системных механизмов позволяет организовывать программы помощи не просто как раздачу продуктов питания и денежных средств, а как ряд мер, позволяющих восстановить способность людей самостоятельно добывать пропитание и зарабатывать деньги.

Самоорганизация

Эволюция — это не просто ряд случайностей, происходящих из-за перемен в окружающей среде по **геологической истории и из-за борьбы за существование, она управляется определенными законами... Открыть и сформулировать эти** законы **одна из самых важных задач будущего**

Людвиг фон Берталанфи*, биолог

Некоторые сложные системы демонстрируют удивительнейшую способность: они могут обучаться, изменяться.

***Ludwig von Bertalanffy*. Problems of Life: An Evaluation of Modern Biological Thought. New York: John Wiley & Sons Inc., 1952. lOo.**

усложняться, эволюционировать. Это способность одной иилидитьоренной икринки развиться в лягушку, яйца — в курицу, яйцеклетки — в человека — то есть в чрезвычайно сложные организмы. Это способность природы породить миллионы отдельных видов, неповторимых, не похожих друг на друга, а ведь начиналось все с примитивного «бульона» из аминокислот. Это способность человеческого общества пользоваться огнем, сжигать каменный уголь, использовать пар, качать воду, применять разделение труда, организовывать конвейер и цеха по сборке автомобилей на его основе, строить небоскребы и опутывать весь мир сетью коммуникаций.

Способность систем усложнять свою собственную структуру называется самоорганизацией. Проявление самоорганизации в самой простой, механистической форме — обычные снежинки; морозные узоры на оконных стеклах с плохо пригнанными рамами; кристаллы причудливой формы, осаждаемые из

пересыщенных растворов... Более сложное проявление самоорганизации можно наблюдать, когда семена дают ростки, когда ребенок учится говорить, когда соседи собираются вместе, чтобы препятствовать строительству хранилища химических отходов...

Самоорганизация встречается очень часто, особеннс] в живых системах, поэтому мы воспринимаем ее как данность, иначе разнообразие самоорганизующихся систем в мире просто ослепило бы нас. Но из-за этого восприятия мы часто разрушаем механизмы самоорганизации, вместе того, чтобы максимально поддерживать их — а ведь мы сами представляем собой части самоорганизующихся систем.

Способностью к самоорганизации часто жертвуют в пользу краткосрочного увеличения производительности и стабильности, точно так же, как это происходит с устойчивостью. Производительность и стабильность — самыр частые аргументы для того, чтобы превратить людей, существ изначально талантливых и творческих, в прими-1 тивные механические придатки к производственным про- ■ цессам. Этим же оправдывают уменьшение генетического

разнообразия сельскохозяйственных растений. Эти же мотивы лежат в основе бюрократических систем и теорий управления, оперирующих людьми, словно бездушными единицами.

Способность к самоорганизации порождает разнородность и непредсказуемость. Она может вырастить новые структуры, создать новые способы существования и виды деятельности. Для самоорганизации необходимы свобода, возможность экспериментировать и некоторый (творческий) беспорядок. Условия, способствующие самоорганизп ции, могут показаться кому-то ужасными, а власти часто воспринимают их как угрозу своему существованию. Из-за этого, например, образовательные системы могут ограничивать творческие способности детей, вместо того чтобы всеми силами развивать их. А экономические меры могут быть направлены на поддержку давно существующих крупных корпораций, в ущерб новым, недавно созданным компаниям. Многие правительства очень не хотят, чтобы население их стран самоорганизовывалось.

К счастью, самоорганизация — это настолько присущее живым системам свойство, что даже самые деспотичные властные структуры не в состоянии полностью искоренить его. Но все же иногда самоорганизацию пытаются запретить, прикрываясь именем закона и порядка, и тогда наступают долгие периоды застоя и серости, безжалостные к любому творческому начинанию.

Специалисты по теории систем раньше полагали, что самоорганизация — настолько сложное свойство систем, оно непознаваемо в принципе. Компьютеры использовались для моделирования только механистических, детерминистских систем, не способных к эволюции, — тогда считалось, что эволюционирующие системы понять и смоделировать вообще невозможно.

Но прошло время, и новые открытия показали, что скольких несложных принципов организации вполне достаточно для того, чтобы получить широчайшее разнообразие самоорганизующихся структур. Представьте себе про-

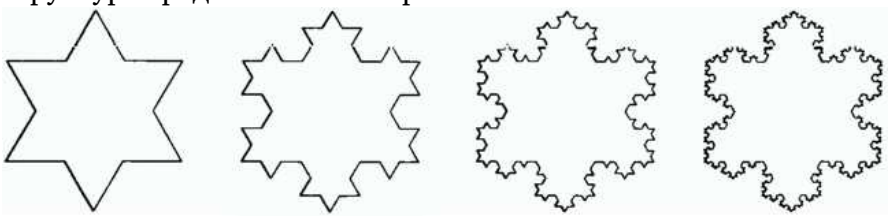


Рис. 46. Даже очень сложные и замысловатые формы — такие, как показанные здесь кривые Коха — могут возникать из набора простых правил или принципов построения

стой равносторонний треугольник. Теперь к каждой стороне в середине пристройте по еще одному равностороннему треугольнику, с длиной стороны в три раза меньше. К каждому образовавшемуся треугольнику пристройте новые треугольники, еще в три раза меньше, и т. д. То, что получится, называется «кривой Коха», или «снежинкой Коха» — этапы ее построения показаны на рис. 46. Протяженность ее сторон можно увеличивать до бесконечности, но при этом «снежинка» ограничивает конечную площадь. Эта фигура — один из простейших примеров фракталов, самоподобных объектов. Изучающая их фрактальная геометрия находится на стыке искусства и математики. Фракталы строятся по относительно простым правилам, но при этом образуют очень сложные и красивые формы.

На основе всего нескольких элементарных правил построения фракталов компьютер может построить необычайно красивую, сложную, изящную картинку с растительным узором, очень похожим на настоящие листья папоротника. Вероятно, по таким же простым наборам геометрических правил из одной-единственной клетки развивается сложный человеческий организм. Базовые правила просты, но на их основе создаются объекты поразительной сложности и совершенства. Фрактальная геометрия, кстати говоря, показала, что суммарная поверхность

легких среднестатистического человека по площади не уступает теннисному корту.

Вот еще несколько примеров простых правил организации, по которым строятся самоорганизующиеся системы большой сложности:

■ Все живые объекты, от вирусов до огромных деревьев, от амеб до слонов, основаны на одном и том же наборе правил организации, зашифрованных в молекулах ДНК, РНК и белков.

* Сельскохозяйственная революция (и все, что за ней последовало) началась с открытия: оказывается, люди могут вести оседлый образ жизни, владеть землей, выводить и выращивать зерновые культуры.

в «И создал Господь Вселенную, и поместил Землю в центре ее. И создал Господь сушу, и поместил замок в центре ее. И создал Господь человечество, и Церковь в центре его», — таким был основополагающий принцип создания социальных и физических структур в средневековой Европе.

■ « Бог и мораль давно вышли из моды; человеку следует придерживаться объективной и научной точки зрения, он должен владеть средствами производства и приумножать их, а других людей и природу рассматривать как средства производства», — таков основополагающий принцип промышленной революции.

Из простых принципов самоорганизации могут проистекать колоссальные технологические достижения, физические структуры, компании и корпорации, культуры и цивилизации.

Системы часто обладают свойством самоорганизации — способностью выстраивать собственную структуру, создавать новые структуры, учиться, видоизменяться, усложняться. На основе относительно простых правил могут возникнуть чрезвычайно сложные формы самоорганизации. А могут и не возникнуть.

Науке известны примеры того, как сложные самоорганизующиеся системы возникают из элементарных правил. Сама наука — это тоже самоорганизующаяся система, которой очень нравится мысль о том, что вся сложность вселенной проистекает из простых исходных правил. Действительно ли это так, науке пока достоверно установить не удалось.

Иерархическое строение

Натуралистами открыты У паразитов паразиты,
И произвел переполох
Тот факт, что блохи есть у блох.
И обнаружил микроскоп,
Что на клопе бывает клоп, Питающийся паразитом,
На нем другой — ad infinitum.

Джонатан Свифт[18], английский писатель (перевод С. Я. Маршака)

Когда в самоорганизующихся системах создаются новые структуры и увеличивается сложность, очень часто возникает иерархическое соподчинение, иерархия.

Вся Вселенная (или как минимум те ее части, которые человечество считает уже изученными) организована в виде подсистем, образующих подсистемы более высокого уровня, которые, в свою очередь, собираются в еще большие подсистемы. Каждая клетка печени — отдельная подсистема этого органа; сама печень — подсистема организма человека; человек может быть подсистемой в семье, спортивной команде, музыкальной группе и т. д. Все эти группы образуют подсистемы в городе или населенном пункте;

те, в свою очередь, — в стране, в глобальной социальной экономической системе, вписанной в еще более крупную систему — биосферу. Такое распределение систем и подсистем по уровням и называется иерархией.

Корпоративные системы, военные системы, экологические системы, экономические системы, живые организмы -в иерархии всему найдется свое место. Ничего удивительного в этом нет. Если подсистемы вполне в состоянии заботиться о себе, регулировать и поддерживать собственное существование и при этом служить потребностям систем большего размера, а большие системы координируют и улучшают работу своих подсистем, то в результате возникает устойчивая эффективная структура, способная выдерживать внешние воздействия. И довольно сложно себе представить какой-либо другой способ упорядочивания систем и подсистем.

История о том, зачем во Вселенной нужна иерархия

Жили-были два часовых дел мастера — Хронос и Темпус. Оба делали точные часы, у обоих было много покупателей. Народ валом валил в часовые лавки, по телефону постоянно

названивали новые клиенты, желающие сделать заказ. Но тем временем Хронос становился все богаче, а Темпус все беднее. А все потому, что Хронос открыл принцип иерархии. Каждые часы, которые делали Хронос и Темпус, состояли из примерно тысячи деталей. Темпус собирал их одну за одной, деталька к детальке, и если ему нужно было прерваться (например, чтобы ответить на телефонный звонок), то все, что было собрано к этому времени, рассыпалось на

отдельные части. Вернувшись от телефона к рабочему столу, Темпус начинал собирать те же часы заново. И чем больше клиенты звонили ему, тем сложнее было найти время, чтобы собрать часы от начала и до конца, не прерываясь.

Часы, которые собирал Хронос, были ничуть не проще, чем часы Темпуса, но он сначала собирал отдельные детальки, штук по десять, в более крупные детали, прочные

и надежные. Затем из десяти более крупных деталей он делал сборку, а из десяти сборок уже получались часы. Если даже Хроносу надо было прерваться для ответа на телефонный звонок, он терял лишь малую толику проделанной работы. В итоге он собирал часы гораздо быстрее, и труд его был куда эффективнее, чем у Темпуса.

Сложные системы могут возникать из более простых только в том случае, если промежуточные «детали» не рассыпаются, а наоборот, имеют устойчивые формы. Поэтому то, что получится в итоге, будет иметь иерархическое строение. Это объясняет, почему иерархических структур так много в природных системах. Среди всевозможных сложных форм только иерархические выдержали проверку временем и эволюционировали.*

Иерархия — выдающееся изобретение в системном мире, и не только из-за того, что она придает системам устойчивость и способность выносить внешние воздействия, но и потому, что благодаря ей уменьшается количество информации, которое каждая часть системы должна постоянно хранить и отслеживать.

В иерархических системах отношения *внутри* каждой подсистемы теснее и прочнее, чем отношения *между* подсистемами. Все части по-прежнему так или иначе связаны со всеми, но прочность этих связей разная. Сотрудники университетской кафедры общаются друг с другом больше, чем с сотрудниками других кафедр и факультетов. Клетки печени плотнее взаимодействуют друг с другом, чем с клетками сердца. Если разные информационные связи внутри и между уровнями иерархии хорошо налажены, то запаздывания становятся минимальными. Никакой из уровней не оказывается заваленным информацией; система работает эффективно и обладает

устойчивостью к внешним воздействиям.

•*к*

Пересказ из книги: *Herbert Simon.* The Sciences of the Artificial. Cambridge MA: MIT Press, 1969. 90-91 и 98-99.

Иерархические системы до определенной степени можно разложить на части, которые можно рассматривать как отдельные подсистемы. Эти подсистемы с их исключительно плотными внутренними информационными связями можно без особой натяжки считать отдельными системами. Когда иерархия разрушается, чаще всего это происходит по естественным границам подсистем. Очень полезно рассматривать системы с различных иерархических уровней — например, на уровне клеток или органов — и подробно изучать их по отдельности. Системные мыслители сказали бы, что применение редукционистского подхода в науке способно научить очень многому. Но при этом нельзя упускать из виду важные взаимосвязи между подсистемами на более высоких уровнях иерархии, иначе поведение системы может преподнести сюрпризы.

Если вы страдаете заболеванием печени, доктор может назначить лечение, не особенно обращая внимание на состояние сердечно-сосудистой системы или, к примеру, миндалин (если оставаться на том же иерархическом уровне), на особенности вашего характера и образа жизни (если подняться вверх на один-два уровня) или на строение молекул ДНК в ядре клеток печени (если спуститься вниз на несколько иерархических уровней). Но иногда надо отступить на несколько шагов, чтобы оценить всю иерархию в целом. Может быть, вы работаете на вредном производстве, и какие-то химические вещества приводят к повреждению печени. А может быть, это заболевание спровоцировано нарушением в строении ДНК.

Задумайтесь, какие изменения могут происходить со временем, — самоорганизующиеся системы могут достигать новых уровней иерархии и объединяться в одно целое. Раньше энергетические системы любой страны можно было разложить на отдельные составляющие, которые практически не зависели друг от друга. Теперь это не так. Люди, чье мышление эволюционировало медленнее, чем энергетика и экономика, могут быть неприятно удивлены тем, насколько сильно они теперь зависят от ресурсов, залегающих на одном конце света, и решений, которые принимаются на другим.

Существует множество примеров того, как самоорганизующиеся системы создают иерархические структуры. Частный предприниматель, столкнувшись с тем, что работы для одного слишком много, нанимает себе помощников. Маленькая,

неформальная, некоммерческая организация в какой-то момент набирает столько членов и привлекает такой бюджет, что неизбежно потребуется кто-то, кто будет поддерживать порядок. Группа делящихся клеток приобретает специализированные функции и создает разветвленную сердечно-сосудистую систему, которая отвечает за доставку питательных веществ всем остальным клеткам, и не менее разветвленная нервная система координирует их работу.

Иерархии способны развиться с самых нижних уровней, от частей к целому, от клетки к органу и организму, от отдельного игрока к команде, от непосредственного производства к управлению производством. Древние земледельцы объединились и создали города, чтобы защититься и сделать торговлю эффективнее. Жизнь началась с одноклеточных бактерий, а не со слонов или китов. Исходная цель любой иерархии — помочь создавшим ее подсистемам работать лучше. К сожалению, к тому моменту, когда иерархия становится хорошо развитой, эту исходную цель довольно часто напрочь забывают и верхние, и нижние уровни. Иерархии начинают работать неподобающим образом; именно по этой причине многие системы так и не достигают своих целей.

Иерархические системы развиваются с самого нижнего уровня. Исходная цель верхних уровней иерархии состоит в том, чтобы помогать нижним уровням достигать своих целей.

Если участника команды больше заботит личная слава, чем победа команды, это может привести к тому, что команда проиграет. Если клетки организма перестают выполнять свои функции в рамках иерархии и начинают бесконтрольно делиться, мы называем это раком. Если студенты считают, что их основная задача — получать хорошие оценки (а не знания!), то начинается повальное списывание, использование шпаргалок, приводящее к противоположным результатам. Если отдельная корпорация подкупает правящие структуры для лоббирования своих интересов, то неизбежно страдают механизмы рыночной конкуренции, и это негативно отражается на всем обществе.

Если интересы подсистемы достигаются в ущерб интересам системы в целом, такое поведение называют субоптимизацией . [19]

Не только субоптимизация, но и чрезмерный контроль, до предела централизованное управление, могут наносить системе вред. Если бы мозг полностью контролировал каждую клетку так,

что она не смогла бы выполнять функции собственного поддержания, то весь организм мог бы погибнуть. Если правила и нормы поведения, навязанные руководством, не дают студентам или преподавателям свободно обмениваться знаниями в разных областях, то цель университета никогда не будет достигнута. Указания тренера могут прийти в противоречие с непосредственным чутьем хорошего игрока, и тогда вся команда потеряет кураж. В экономике тоже много примеров чрезмерного контроля из центра, касается ли это отдельных предприятий или целых стран. На протяжении истории такой контроль часто приводил к катастрофическим событиям, а все они не проходят бесследно.

Чтобы система работала как следует, иерархической структуре надо соблюдать равновесие между благосостоянием, свободами и ответственностью подсистем и системы в целом. Определенный централизованный контроль нужен для того, чтобы координировать действия по достижению общей цели, а автономность необходима для того, чтобы каждая подсистема могла самоорганизовываться, поддерживать себя в хорошем состоянии и нормально работать.

Способность к устойчивости, самоорганизации и образованию иерархических структур — это три причины, по которым динамические системы так эффективны. Развитие этих свойств в системе и управление ими может улучшить ее способность эффективно работать на протяжении долгого времени — обеспечить самоподдержание. Но при этом поведение систем все равно может нас сильно удивлять.

4

ГЛАВА

Почему поведение систем бывает таким неожиданным

Проблема в том… что мы чудовищно мало знаем.

Самые образованные из нас все равно невежественны…

Чтобы обрести какие-то знания, сначала нужно признаться в неведении, разоблачить собственное невежество.

Все, что нам известно о мире, говорит о том, что он гораздо больше и сложнее, чем мы можем себе представить.

Венделл Берри , писатель и фермер из Кентукки

Поведение даже самых простых систем в нашем «зоопарке» могло вас озадачить. Я и сама не устаю им удивляться, хотя вела курс по системам много лет. То, что системы ведут себя

неожиданно, характеризует не только системы, но и нас самих. Сравнение знаний о реальном мире с тем, что я знаю (или думаю, что знаю) о динамических системах, всегда показывает, что наш уровень знаний не стоит переоценивать. Полезно помнить три важных истины:

***Wendell Berry*. Standing by Words. Washington, DC: Shoemakpr & Hoard, 2005. 65.**

1. Все, что, как нам кажется, мы знаем о мире, — лишь модель. Любое слово и любой язык — тоже модели. Все карты и статистические данные, все книги и базы данных, уравнения и компьютерные программы — модели. То, как я представляю себе мир, — моя *мысленная* модель. Ничто из перечисленного не является *реальным* миром сейчас и никогда им не станет.

2. Обычно наши модели хорошо соотносятся с реальностью. Именно поэтому наш биологический вид достиг в биосфере таких успехов. Особенно сложные, можно даже сказать, изощренные мысленные модели мы разработали для восприятия того, что непосредственно окружает нас: природа и все сигналы, что мы получаем от нее; окружающие люди; организации, с которыми мы имеем дело.

3. Но вместе с тем наши модели очень далеки от того, чтобы представлять мир во всей полноте. Из-за этого мы совершаем ошибки. Из-за этого окружающая реальность час- (то нас удивляет и ставит в тупик. Наш мозг позволяет одновременно отслеживать всего несколько параметров и переменных. Порой мы приходим к нелогичным заключениям, даже если исходные положения были правильны. Случается и наоборот — иногда мы делаем верные выводы из неверных исходных данных. Большинство людей никак не ожидает того, насколько быстрый рост способна вызывать экспоненциальная зависимость. И мало кто может интуитивно уловить, как погасить колебания в сложной системе.

Можно сказать, вся эта книга построена на двойственности: мы потрясающе много знаем о том, как работает этот мир, но все равно этого недостаточно. Наши знания поразительны, но еще больше потрясает наше незнание. Мы можем улучшить наше понимание, но его нельзя сделать абсолютным. Это две стороны одной медали, и все мои знания о системах только подтверждают эту двойственность.

всс, что, кок нам кажется, мы знаем о мире, — модель. Наши модели очень хорошо соотносятся с реальностью, но вместе с тем они далеки от того, чтобы представлять мир во всей полноте.

В этой главе описаны некоторые причины, по которым

динамические системы часто ведут себя неожиданно. По сути, все это примеры того, как наши мысленные модели дают сбой и не могут достаточно точно описать реальный мир, — причем только те примеры, которые можно привести на основании системного представления, а ведь могут быть и другие. Это предостережение о том, что можно налететь на подводные камни. Обойти их в мире, где все связано со всем и где есть масса обратных связей, невозможно, если обращать внимание только на краткосрочные события, игнорировать структуру системы и поведение в долгосрочной перспективе. Необходимо знать, что такое ложные границы и ограниченная рациональность, не забывать об ограничивающих факторах, нелинейных зависимостях и запаздываниях. Если не учитывать ключевые свойства систем — устойчивость, самоорганизацию и иерархическое строение — то их структура и поведение будут истолкованы неправильно, и успешно взаимодействовать с ними станет невозможно.

Хорошие это новости или плохие, зависит от того, хотите ли вы сами управлять миром или согласны, чтобы он управлял вами, время от времени преподнося сюрпризы. Но надо честно предупредить: даже если вы понимаете все перечисленные свойства и особенности систем, мир все равно будет иногда удивлять вас — просто немного реже.

События, притягивающие внимание

Система — черный ящик, ее нам неизвестна суть. Никто не знает, что в ней происходит.

Мы видим то, что входит и выходит,

Но внутрь нее нельзя нам заглянуть.

Мы можем только, проявив старание,

За тем, что входит и выходит, наблюдать,

Чтобы потом хоть как-то рассчитать Связь входа с выходом и состоянием.

Чтоб дать прогноз, ответить на вопросы, Зависимость должна быть однозначна и ясна.

Коль так — задача наша решена.

Но если нет — то мы опять остались с носом.

Кеннет Боулдинг , экономист (перевод Е. С. Оганесян)

Системы могут вводить нас в заблуждение тем, как они себя

преподносят (или мы «сами обманываться рады») — в виде последовательности событий. В новостях нам рассказывают о выборах, военных стычках, политических договоренностях, стихийных бедствиях, взлетах и провалах на бирже... Основное содержание нашего ежедневного общения с другими людьми — различные события, имевшие место в то или иное время в том или ином месте. Какая ко- , манда выиграла. Где произошло наводнение. Каков индекс Доу-Джонса и котировки основных компаний. Где открыли новое месторождение нефти. Где свели под корень очередной лес. События — это хронологически увязанные данные, полученные на выходе из системы, из черного ящика.

События могут производить сильное впечатление: аварии и крушения, террористические акты, большие победы, ужасные трагедии... Все это вызывает сильные эмоции. Хотя мы видели тысячи таких событий по телевизору, слышали в новостях и читали про них в газетах, все равно они не похожи одно на другое и продолжают притягивать наше внимание — так же, как прогноз погоды. В обилии событий, ежедневно происходящих в мире, можно утонуть — им нет конца, они всегда будут для нас неожиданностью, потому что при таком восприятии мира невозможно ни предсказать, ни объяснить что бы то ни было. События — видимая часть айсберга, причем не самая важная. Все остальное — сами сложные системы — скрывается под водой, не доступное взгляду.

Мы склонны меньше удивляться в том случае, если в событиях можно уловить определенную последовательность, динамический тип *поведения.* Команда переживает полосу удачных (или неудачных) игр. Уровень воды в реке колеблется сильнее — если идут затяжные дожди, начинается наводнение, если стоит засуха — река мелеет. Индекс Доу-Джонса рос в течение нескольких лет, пока не наступил кризис. Новые месторождения нефти обнаруживают все реже. Сведение лесов происходит со все возрастающей скоростью.

Поведение системы определяет ее характеристики во времени — рост, застой, упадок, колебания, случайные флуктуации, эволюционные изменения. Если бы события в новостях преподносились в историческом контексте, наше понимание систем было бы глубже — на уровне поведения, а не только на уровне отдельных событий. Когда системный мыслитель обнаруживает проблему, первым делом он собирает данные об истории системы, включая графики ее поведения во времени. Поведение за продолжительный срок позволяет подобраться к структуре системы, лежащей в основе этого поведения. А

структура, в свою очередь, — ключ к пониманию не только того, *что* происходит, но и *почему*.

Структура системы — это совокупность запасов, потоков и обратных связей. Схемы с прямоугольниками и стрелками (мои студенты прозвали их «клубком спагетти») — наглядное представление структуры системы. Структура определяет, какое поведение изначально присуще системе. Балансирующий цикл обратной связи, стремящийся добиться конкретной цели, способствует достижению динамического равновесия, а потом поддерживает его. Усиливающий цикл порождает экспоненциальный рост. Связанные вместе, эти циклы могут демонстрировать и рост, и упадок, и равновесие. Если в них, к тому же, заложены запаздывания, то могут возникать еще и колебания. А если циклы включаются на краткое время, то поведение может быть еще более разнообразным и трудно предсказуемым.

Структура системы определяет ее поведение. Поведение системы проявляется в виде событий, происходящих в определенной последовательности.

Системное мышление постоянно использует понятия структуры (диаграммы запасов, потоков и связей) и поведения (графики зависимостей от времени). Специалисты-системщики стараются понять связь между рукой, отпускающей конец пружинки-Слинки (событие), последующими колебаниями (поведение) и механическими характеристиками винтовой спирали Слинки (структура).

Простые примеры — вроде той же игрушки Слинки — делают разницу между событием, поведением и структурой очевидной. Большая часть аналитических обзоров в мире посвящена событиям, несмотря на то, что это очень поверхностный подход. Прислушайтесь к биржевым новостям: как в них объясняется, почему рынок акций ведет себя так, а не иначе? Акции поднялись в цене (упали) потому, что американский доллар упал (поднялся), или базовая ставка выросла (понизилась), или демократы выиграли (проиграли), или войска одной страны вторглись в другую (или не стали вторгаться)... Анализ на уровне событий, не более того.

Такие объяснения не дают никакой возможности предсказать, что будет дальше. На их основании невозможно изменить поведение системы — например, сделать рынок акций более

устойчивым, разработать более достоверный индикатор экономического состояния компаний, стимулировать инвестиции...

Экономические аналитики иногда спускаются на один уровень глубже, к поведению системы во времени. Эконометрические модели стараются обнаружить статистически значимые связи между тенденциями, наблюдавшимися в прошлом, — применительно к доходам, накоплениям, инвестициям, государственным расходам, процентным ставкам, годовым объемам производства и тому подобным параметрам. Эти связи описываются зачастую очень сложными уравнениями.

Модели, основывающиеся на поведении, полезнее, чем модели на основе событий, но и у них есть принципиальные недостатки. Во-первых, они, как правило, преувеличивают значение системных потоков и недооценивают значение запасов. Экономисты следят за поведением потоков, потому что именно в этом проявляются самые интересные и быстрые изменения, причем их легко обнаружить. В экономических новостях говорят в основном о производстве продукции и услуг в масштабах страны (это поток), о валовом национальном продукте (ВНП), а не о суммарном физическом капитале (это запас) всех заводов и фабрик в стране, производящих те самые услуги и продукцию. Но если не учитывать, *как* запасы посредством обратных связей влияют на соответствующие потоки, то нельзя понять ни динамику экономических систем, ни причины их поведения.

Во-вторых (и это более серьезный недостаток), в попытках определить статистические зависимости между поте-нами специалисты-эконометрики ищут то, чего на самом деле не существует. Нет никаких причин считать, что один поток имеет какую-либо устойчивую связь с каким-либо другим потоком. Потоки увеличиваются и уменьшаются, возникают и иссякают, причем в самых разных сочетаниях, и происходит это в зависимости от значений запасов, а не других потоков.

Чтобы пояснить это, приведу простой пример. Предположим, вам ничего не известно о термостатах, но у вас за определенное время накоплена масса данных о тепловых потоках, подаваемых в помещение и исходящих из него. Вы можете составить уравнение, по которому эти тепловые потоки изменялись в прошлом: в обычных условиях они управлялись одним и тем же запасом — температурой в помещении. Все потоки зависели от нее и менялись соответственно.

Но ваше уравнение будет работать только до тех пор, пока в структуре системы что-нибудь не изменится. Как только кто-нибудь откроет окно, или проведет работы по улучшению

теплоизоляции, или перенастроит обогреватель, или забудет заказать топливо для него (если это дизельная печка), ваше уравнение перестанет действовать. Вы сможете предсказывать температуру в комнате по вашему уравнению только при том условии, что в системе не будет никаких изменений. Но если вас попросят сделать что-то, чтобы в комнате стало теплее, или температура вдруг ни с того ни с сего начнет падать, а вам нужно будет это падение остановить, или вы захотите добиться той же температуры ценой меньших затрат на топливо — во всех этих случаях анализ на основе событий вам ничем не поможет. Придется обратиться к структуре системы.

Вот почему основанные на поведении эконометрические модели хорошо подходят для краткосрочного прогнозирования в экономике, но совершенно не годятся для долгосрочных прогнозов. А уж в вопросах, как улучшить состояние экономики, от этих моделей вообще нет никакого толку.

Это еще одна причина того, что поведение систем часто бывает для лас неожиданным. Происходящие события поглощают все наше внимание. Мы не изучаем их историю, и нам не хватает опыта и знаний, чтобы от истории перейти к структуре системы. А ведь именно она определяет поведение системы и последовательность событий.

Линейное мышление в нелинейном мире

Линейные зависимости понять нетрудно: чем больше, тем пропорционально лучше. Линейные уравнения решаются просто, ими полны все учебники. Линейные зависимости подобны кирпичикам — их можно разобрать, а потом снова сложить вместе, и все кусочки подойдут друг к другу.

А вот нелинейные системы в лоб решить невозможно, такие зависимости складывать нельзя… Нелинейность означает, что по ходу игры правила могут меняться… Эта переменчивость делает расчеты нелинейных систем очень сложной задачей, но зато в них наблюдается такое разнообразие вариантов поведения, которое даже и не снилось линейным системам.

Джеймс Глеик*, специалист по фрактальной геометрии, автор книги «Хаос: создание новой науки»

Часто нам не хватает знаний даже для того, чтобы понять характер взаимосвязей. Линейная зависимость между двумя элементами системы отображается на графиках

***James Gleick.* Chaos: Making a New Science. New York:**

Viking, 1987. 23—24. (Книга издавалась на русском языке: *ГлейкДж.* Хаос. Создание новой науки. СПб.: Издательство «Амфора», 2001. 398 с.)

прямой линией. Ее коэффициенты постоянны. Если использовать на огороде 10 кг удобрения, урожай увеличится на 100 кг, если использовать 20 кг — на 200 кг, если 30 кг — на 300 кг.

При нелинейной зависимости результат нельзя рассчитывать пропорционально вложениям. Зависимость между причиной и следствием отображается на графиках не прямыми, а самыми разными кривыми и волнистыми линиями. Если использовать на огороде 100 кг удобрений, то урожай вырастет на 500 кг (а не на тысячу, как можно было бы ожидать). Если увеличить количество удобрений до 200 кг, урожай не изменится вообще, а если применить 300 кг, даже уменьшится. Почему? Потому что почва будет отравлена такой массой удобрений — это как раз тот случай, когда «слишком хорошо тоже плохо».

В мире очень много нелинейных зависимостей.

Наше привычное мышление линейно, поэтому мы наталкиваемся на столько неожиданностей. Раз мы привыкли, что при малом воздействии будет малый результат, то при воздействии вдвое больше ожидаем и ответа в два раза сильнее. Но в нелинейной системе удвоенное воздействие может привести к результату вшестеро меньше, к отсутствию результата, а может и к результату в квадрате.

Вот несколько характерных примеров нелинейности:

■ Когда поток машин на автомагистрали постепеннс увеличивается, до определенного момента это практи чески не влияет на скорость машин. Однако затек даже небольшого увеличения плотности потока достаточно для того, чтобы скорость упала очень сильно, Когда же количество машин доходит до определенной критической точки, образуется пробка и движение прекращается вовсе.

* Эрозия почвы может долгое время почти не сказываться на величине урожая, но только до тех пор, пока толщина почвенного слоя не станет равной длине корней злаков. После этого любое, даже самое незначительное увеличение эрозии приводит к резкому падению урожайности.

* Небольшая рекламная кампания (особенно если рекламные ролики сделаны со вкусом) способна привлечь интерес потребителей к продукту. Но когда реклама назойлива и криклива, она начинает отталкивать покупателей, и продукт вызывает отвращение.

Неудивительно, что нелинейности производят неожиданный

эффект. Еще бы, ведь они ломают привычный стереотип: применишь немного полезного средства — получишь небольшой положительный эффект, применишь больше — и результат будет больше. Такой же стереотип действует и в отношении вредных веществ: примешь немного, вред будет небольшой; примешь больше — и вред будет пропорционально больше. Казалось бы, логичные ожидания, но в нелинейном мире они всегда приводят к ошибкам.

Нелинейности важны не только потому, что такие связи между действием и откликом не соответствуют нашим ожиданиям. Они важны в первую очередь из-за того, что изменяют *относительную мощность циклов обратной связи.* Они могут заставить систему переключиться с одного вида поведения на другой.

Нелинейные зависимости — основная причина обратимого доминирования, характерного для некоторых систем в нашем «зоопарке». Изменение может быть резким: например, экспоненциальный рост, вызываемый усиливающим циклом, вдруг сменяется снижением из-за того, что доминирование перешло к балансирующему циклу.

Значение нелинейностей можно проиллюстрировать примером из реальной жизни — историей про массовое нашествие гусениц-почкоедов на североамериканские леса.

Гусеницы-почкоеды, хвойные леса и пестициды

Годовые кольца деревьев позволяют определить, что в последние 400 лет в североамериканских хвойных лесах периодически случались нашествия гусениц-почкоедов, уничтожающих пихты и ели. До двадцатого века это никого особо не беспокоило, потому что древесину для пиломатериалов давали сосновые леса. Пихты и ели считались чуть ли не сорняками. Но со временем девственные сосновые леса исчезли, и лесная промышленность переключилась на ель и пихту. И гусеницы-почкоеды превратились в серьезных вредителей.

Начиная с 1950-х гг. северные леса стали опрыскивать **I** ДДТ, чтобы не допускать размножения гусениц Несмотря на опрыскивание, каждый год их популяция восстанавливалась. Ежегодные распыления химикатов продолжались на протяжении еще трех десятков лет, пока ДДТ не запретили. Тогда вместо него стали использовать фенитротион, ацефат, севин и метоксихлор.

Люди уже понимали, что инсектициды — не спасение от нашествия гусениц, но все же считалось, что их применение

необходимо. Специалисты лесной промышленности говорили, что применение инсектицидов позволяет выиграть время, чтобы сохранить деревья в целости до того момента, пока не начнутся рубки.

К 1980 г. расходы на опрыскивание вышли за пределы разумного. Только в одной канадской провинции Нью-Бран-свик за год на «избавление» от гусениц ушло 12,5 млн долларов. Местные жители были обеспокоены и активно противились тому, чтобы все окрестности без устали поливали отравой. К тому же, несмотря на распыление химикатов, гусеницы неплохо себя чувствовали и за год уничтожали по 20 млн гектаров леса.

К. С. Холлинг из Университета Британской Колумбии и Г. Баскервиль из Университета Нью-Брансвика создали компьютерную модель, чтобы изучить проблему с нашествием гусениц с системной точки зрения. Модель позволила

установить, что до того, как начались опрыскивания, гусеницы практически не проявляли себя многие годы подряд. Их численность контролировали естественные хищники — птицы, пауки, осы. Влияли на них и некоторые болезни. Но периодически, через несколько десятков лет, случалась вспышка размножения, которая длилась от шести до десяти лет. После этого численность гусениц падала, чтобы через несколько десятков лет снова резко увеличиться.

Из всех пород деревьев гусеницы предпочитают бальзамическую пихту. На втором месте стоит ель. Бальзамическая пихта составляет основу северных лесов, и при естественном ходе событий она со временем вытесняет ели и березы. Леса становятся монокультурными — в них нет других деревьев, кроме пихты. Вспышка численности гусениц уменьшает количество пихт, и это дает елям и березам новый шанс. Хотя со временем пихта опять начинает вытеснять все остальное.

Когда количество пихт увеличивается, вероятность вспышки численности гусениц тоже возрастает, причем *нелинейно.* Способность гусениц к размножению растет существенно быстрее, чем было бы при пропорциональной зависимости от количества пихт. Спусковым крючком могут послужить две-три теплые весны подряд — в таких условиях выживает большинство личинок гусениц. (Кстати, если ограничиваться только анализом на уровне событий, то в нашествии гусениц надо было бы обвинить теплую и сухую погоду весной.)

Популяция гусениц становится слишком большой, с ней не могут справиться естественные враги — и эта зависимость тоже *нелинейная.* Обычно в довольно широком диапазоне условий большая популяция гусениц приводит к большей численности

естественных хищников, их поедающих. Но только до определенной точки. После нее хищники не успевают размножаться с такой скоростью. Если раньше был усиливающий цикл (больше гусениц — больше естественных врагов), то теперь он не действует (больше гусениц — но численность хищников так быстро не растет — и гусеницы размножаются беспрепятственно).

Начиная с этого момента, только одно способно остановить нашествие гусениц: они сами подрывают свою пищевую базу, уничтожая пихту по всем лесам. Когда это происходит, популяция гусениц резко уменьшается — причем тоже *нелинейно.* Усиливающий цикл размножения гусениц уступает балансирующему циклу, описывающему гибель от голода. В лесах, где раньше была пихта, снова появляются ели и березы, и цикл начинается заново.

Многие взаимосвязи в системах нелинейны.

При изменении запасов в системе их относительная мощность меняется непропорционально. Нелинейности в системах с обратными связями приводят к обратимому доминированию разных циклов. Это усложняет поведение системы и делает его более разнообразным.

Система, включающая гусениц, пихты и ели, может демонстрировать колебания с периодом в десятки лет, но при этом экосистема не покидает определенных границ. Так может продолжаться до бесконечности. Основной результат деятельности гусениц состоит в том, что в лесу растет не только пихта, но и другие породы деревьев. Но то, что устойчиво с экологической точки зрения, невыгодно экономически. В восточной Канаде практически вся экономика зависит от лесной промышленности, а она, в свою очередь, требует непрерывных заготовок пихты и ели.

Когда стали применяться инсектициды, системе стало труднее балансировать между разными нелинейными зависимостями. Инсектициды убивают не только гусениц, но и их естественных врагов, тем самым ослабляя обратную связь, которая раньше сдерживала размножение вредителей. Пихт в лесах по-прежнему много, поэтому размножение гусениц,

происходящее по нелинейному закону, преодолевает критическую точку, после которой их численность растет взрывными темпами. С этого момента гусеницы постоянно готовы осуществить очередное нашествие. Действия лесной промышленности привели к тому,

----------'II мшиимрм *шштшгг •л'шг-ттп втгшжшт* “згчей™ '■ˆгтяиишш

что Холлинг назвал «постоянной готовностью к вспышке численности», причем на все большей территории. Лесная промышленность сама загнала себя в эту ситуацию и теперь сидит на пороховой бочке: стоит хоть немного уменьшить распыление химикатов, как последует немедленный взрыв численности гусениц, причем такой силы, что даже представить страшно.*

Несуществующие границы

Если мыслить в системных терминах, становится заметным частое неправильное использование понятия «побочный эффект*... Обычно под этим подразумевают «эффект, которого я не предвидел или о котором думать не хочу*... Побочные эффекты заслуживают прилагательного «побочный* ничуть не больше, чем «основной» эффект. В системных терминах мыслить не так-то легко, и чтобы облегчить себе жизнь, мы предпочитаем коверкать язык.

Гаррет Хардин*, эколог

Помните символы «облаков» на структурных схемах в первой и второй главах? Остерегайтесь их! Они — основные источники неожиданного поведения систем.

*** Эта история упоминается в нескольких источниках: *C. S. Holling.* The Curious Behavior of Complex Systems: Lessons from Ecology в издании *H. A. Linstone.* Future Research (Reading, MA: Addison-Wesley, 1977); *B. A. Montgomery et al.* The Spruce Budworm Handbook, Michigan Cooperative Forest Pest Management Program. Handbook. 82-7. November. 1982; The Research News. University of Michigan. April—June. 1984; *Kari Lie.* The Spruce Budworm Controversy in New Brunswick and Nova Scotia // Alternatives. 10. no. 10(Spring 1980). 5; *R.F.Morris.* The Dynamics of Epidemic Spru ce Budworm Populations // Entomological Society of Canada, no. 31 (1963).**

** ***Garrett Hardin.*** **The Cybernetics of Competition: A Biologist's View of Society. Perspectives in Biology and Medicine. 7. no. 1 (1963). 58-84.**

Символами «облаков» отмечены начала и концы потоков. По сути, они представляют собой запасы — источники или стоки — которые мы в данный момент не учитываем, чтобы не усложнять обсуждение. Они отмечают границы системной диаграммы. Практически никогда речь не идет о реальной границе — системы вообще редко имеют реальные границы. Как известно, все связано со всем, и четких границ тут нет. Между морем и сушей нет жесткой и однозначной границы, между социологией и антропологией нельзя провести линию раздела. Нет преграды, отделяющей автомобильные выхлопы от вашего носа... Границ на самом деле не существует — это лишь словесные понятия, рамки мышления, восприятия, принятые в обществе ограничения — искусственные, теоретические границы, мысленные модели.

Самые большие сложности возникают именно с границами. С немецкой стороны границы могут жить чехи, а с чешской стороны границы — немцы. Деревья произрастают не только в лесах — отдельные экземпляры растут даже в полях; в свою очередь, полевые культуры проникают в глубины леса. Беспорядочные, смешанные границы — источник разнообразия и творчества.

В нашем «системном зоопарке», кстати, символ «облака» применялся в той схеме, которая описывала поставки автомобилей на склад дилера, — машины поступали из «облака». Разумеется, в облаках машины не делают, их производят на заводах из определенных видов сырья, используя для этого капитал, рабочую силу, энергию, технологии и управление (все это — средства производства). Точно так же и поток машин со склада уходит не в облака, а в гаражи к частным клиентам или корпоративным заказчикам в результате продаж.

Нужно ли учитывать потоки сырья и отслеживать перемещение машин домой к покупателям (то есть надо ли вместо символа «облака» использовать на диаграмме соответствующие структуры), зависит от того, насколько такие уровневые переменные (или запасы) влияют на поведе-

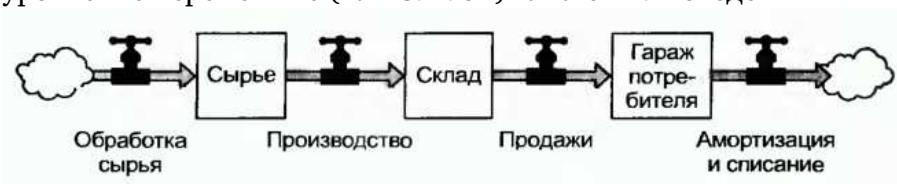


Рис. 47. За «облаками» иногда скрываются другие части системы

ние системы в интересующих нас временных границах. Если сырья заведомо достаточно, а клиенты по-прежнему готовы покупать машины, то «облака» использовать можно. Но вот если

случится нехватка сырья или насыщение рынка продукцией, а мы проведем мысленные границы вокруг системы, не включая эти факторы, то поведение системы может оказаться совершенно неожиданным.

На рис. 47 используются символы «облаков». Границу можно отодвинуть дальше. Обработанное сырье поступает с химических комбинатов, из плавильных печей, с нефтеперегонных заводов, а они, в свою очередь, получают потоки сырья от предприятий, занятых добычей полезных ископаемых. Обработка не только приводит к созданию продукции — создаются еще и рабочие места, появляются доходы, зарплаты, выбросы и загрязнения... Потребленная продукция перемещается на мусорные свалки, мусоросжигательные заводы или поступает на переработку, и это тоже затрагивает общество и окружающую среду. Утечки вредных веществ со свалок загрязняют источники питьевой воды; мусоросжигательные заводы выбрасывают дым и золу; заводы по переработке направляют вторичное сырье в производственные потоки.

Всегда ли нужно отслеживать всю цепочку, от месторождения до мусорной свалки — что называется, «от колыбели до могилы»? Это зависит от того, кто и что хочет узнать, и за какой период времени. Для долговременных оценок полная цепочка очень важна. А коль скоро физическая экономика расширяется, антропогенная нагрузка на среду («экологический след» человечества) растет, то и долговременные прогнозы вдруг превращаются в краткосрочные. Мусорные свалки заполняются (и переполняются) неожиданно быстро. Ото по-настоящему ишарашивает людей, для которых мысленная модель рисовала радужную картинку, будто они «выбросили» что-то навсегда, избавились от чего-то, отправив в некое «облако». Источники сырья — месторождения, скважины, шахты — тоже могут истощаться с неожиданно высокой скоростью.

Если раздвинуть временные рамки достаточно широко, то и шахты с месторождениями нельзя считать концом истории. Геологические циклы продолжительностью в миллионы лет продолжают перемещать горные породы по нашей планете, приводят к появлению и исчезновению морей, поднимают и опускают горные массивы. Пройдет еще сколько-то геологических эпох, и то, что было погребено в мусорных кучах, окажется на вершине скалы или на дне океана. Образуются новые месторождения металлических руд и углеводородов. В масштабах нашей планеты у системы нет «облаков», нет крайних границ. Даже реально существующие облака на небе — и те участвуют в круговороте воды в природе. Все физические потоки откуда-то

поступают и куда-то ведут, всё пребывает в движении.

Но это не значит, что всякая модель, будь то мысленная или компьютерная, должна отслеживать все цепочки до тех пор, пока не будет охвачена вся планета. «Облака» — необходимая часть моделей, описывающая метафизические потоки. В буквальном смысле к нам спускаются с небес, из облаков, любовь и ненависть, гнев, чувство собственного достоинства... Если мы хотим изучить что-то, приходится прибегать к упрощениям, а значит, вводить искусственные границы. Иногда «облака» несут в себе дополнительный подтекст — например, нет ничего плохого в том, чтобы рассматривать рождаемость и смертность как приход из облаков и возвращение обратно, как на рис. 48.

Границы на рис. 48 в прямом смысле этого слова проходят «от колыбели до могилы». Но и они могут оказаться неподходящими — например, в том случае, если население

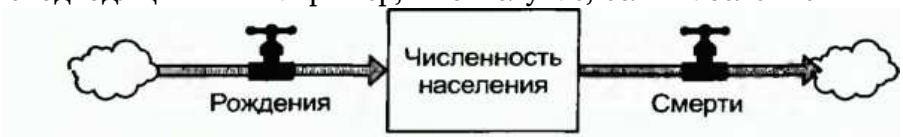


Рис. 48. И здесь есть «облака»

интенсивно мигрирует (эмиграция и иммиграция) или если мы изучаем проблему с нехваткой мест на кладбище.

Иногда с выбором границ приходится помучиться даже опытным системным мыслителям. Вокруг системы нет какой-то одной, раз и навсегда определенной границы. Нам приходится их придумывать, чтобы модель была доходчивой и адекватной. Если забыть, что эти границы мы искусственно воздвигли сами, могут возникнуть большие проблемы.

Отдельных, изолированных систем не существует. Мир непрерывен. Где провести искусственную границу вокруг системы, зависит от того, какая перед нами цель — на какие вопросы надо найти ответ.

Если выбрать слишком узкие границы, то поведение системы вас озадачит. Допустим, вы пытаетесь решить проблему транспортных пробок в городе, но при этом не учитываете план застройки. Вы строите дополнительные магистрали, они привлекают застройщиков, которые возводят жилые сектора по всей длине новых магистралей. В новые дома заселяются жители, которые ездят на машинах, и в результате новые магистрали точно так же забиты машинами, как и прежние.

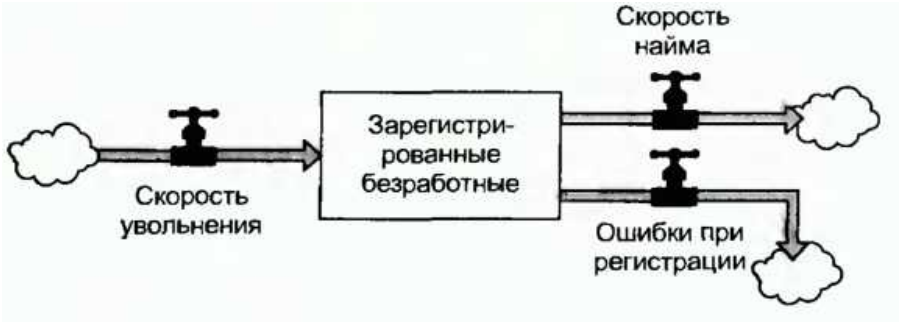
Если вы пытаетесь решить проблему со сточными водами, что сбрасываются в реку, то необходимо учитывать, что ниже по течению тоже расположены города, — ив этом случае границы должны охватывать всю реку. Возможно, придется включить в них еще и окружающие земли, а так же грунтовые воды, связанные с рекой. Рассматривать бпˆ

сейны соседних рек и круговорот воды в масштабах всей

ГГТТЯТТРТМ, пкоррр ЯГ.РГО, НР ттоттяд оРттгя.

Раньше при планировании национальных парков и заповедников ограничивались физическими пределами самого парка. Но эти границы постоянно пересекают путешествующие туристы, кочевые племена, мигрирующие дикие животные. Потоки воды протекают через парк, покидают его, иногда в виде подземных вод. На приграничные зоны парка оказывает воздействие развитие местной

Рис. 49. Еще несколько примеров с «облаками». На рисунке показаны системы с определенными границами и «облаками», но при этом мышление должно охватывать и те области, что лежат за пределами системы. По какой причине люди совершают преступления и получают новые приговоры? Куда отправляют отработанные топливные стержни (тепловыделяющие элементы, ТВЭЛы) после замены? Что происходит с теми безработными, при регистрации которых произошла ошибка?



экономики. Еще нужно учитывать влияние кислотных дождей и изменение климата из-за накопления в атмосфере парниковых газов. Даже если не касаться изменения климата, все равно для управления парком нужно мыслить в границах, которые существенно шире, чем физический периметр парка.

Иногда специалисты-системщики впадают в другую крайность и делают границы слишком широкими. У них есть скверная привычка делать схемы систем такими большими, что они занимают несколько страниц, с подписями мелким шрифтом и огромным количеством стрелок, соединяющих всё и вся. «Вот это система!» - говорят они с восхищением. А если предложить рассмотреть систему поменьше, вас просто засмеют...

Соревнования в размерах («моя модель больше!») приводят к чрезмерному усложнению анализа. Модели выдают огромные объемы информации, в которых просто невозможно найти ответы на вопросы. Например, создать максимально подробную модель климата на планете — занятие очень интересное во многих отношениях, но решить, как страны могут снизить выбросы углекислого газа, чтобы уменьшить изменение климата, вполне можно и без такой модели.

Правильно подобранные модели для решения конкретной проблемы практически никогда не укладываются в границы, разделяющие научные дисциплины и области знаний. И в политические границы они тоже не вписываются. Реки могут служить удобными границами между странами, но это худший из всех возможных типов границ, если речь идет об управлении количеством и качеством воды. С воздухом дела обстоят еще хуже, потому что он постоянно пересекает политические границы. Границы между странами не имеют никакого значения, если в стратосфере истощается озоновый слой или в атмосфере накапливаются парниковые газы, и если в океане затапливают ядерные отходы.

В идеале для каждой новой проблемы нам надо заново отыскивать подходящие границы, а для этого нужна определенная гибкость мышления. Мало кто ею обладает. Мы привязаны к

мысленным границам, которые однажды выбрали и к которым уже успели привыкнуть. Только подумайте, как много факторов связано с границами: границы страны, границы торгового влияния, этнические границы, границы между личной и коллективной ответственностью, между богатством и нищетой, между тем, кто загрязняет, и тем, кто страдает от этого, между теми, кто живет сейчас, и теми, кто будет жить после. Университеты могут годами спорить о том, где проходит граница между экономикой и теорией управления, искусством и историей искусства, литературой и литературной критикой. Слишком часто те же университеты служат живыми примерами того, как воздвигаются искусственные границы, незыблемые и непреодолимые.

Всегда полезно помнить (хоть это и нелегко), что *границы создаем мы сами. При каждом обсуждении, для каждой новой проблемы или цели их можно и нужно пересматривать.* Довольно трудно удержаться от искушения использовать те же границы, что хорошо подошли к предыдущей проблеме, и вместо этого заново подбирать пределы для новой задачи. Но если мы действительно хотим найти решение, придется совершать над собой усилие и делать именно так.

Уровни пределов

Системы удивляют нас, потому что привычный образ мыслей всегда связывает одиночные причины с одиночными же следствиями. Нам удобно держать в памяти одно или несколько дел, но не больше. И нам очень не нравится думать о пределах, особенно если речь идет о наших планах и желаниях.

Но мы живем в мире, где ежедневно множество причин одновременно вызывает множество следствий. Многочисленные входные ПОТОКИ определяют многочисленные выходные потоки, и практически все они (и входы, и выходы) имеют ограничения. Например, для промышленного производства необходимы:

- капитал;
- рабочая сила;
- энергия;
- сырье;
- производственные площади;
- вода;
- технологии и методы;
- кредиты;
- страховое обеспечение;

■ заказчики и потребители;
■ налаженное управление;
■ общественные институты и общегосударственные функции (полиция, пожарная охрана, образовательные центры для подготовки управленческого персонала и рабочих);
■ институт семьи (для рождения и воспитания тех, кто производит, и тех, кто потребляет);
и здоровая окружающая среда, обеспечивающая или поддерживающая все перечисленные входные потоки и способная поглотить или переработать соответствующие отходы.

Полю, на котором растут зерновые, необходимы:
■ солнечный свет;
■ воздух;
■ вода;
■ азот;
■ фосфор;
■ калий;
■ десятки микроэлементов;
■ рыхлая почва с почвенными микроорганизмами;
■ способы борьбы с сорняками и сельскохозяйственными вредителями;
■ меры защиты от выбросов и отходов, производимых промышленностью.

Именно на примере выращивания зерновых Юстус Либих сформулировал свой знаменитый закон лимитирующего фактора (закон минимума). Если растениям не хватает фосфора, то уже не имеет значения, что азот им доступен в избытке. А если почва бедна калием, то внесение дополнительного количества фосфора ситуацию не улучшит.

Без дрожжей тесто не поднимется, сколько бы муки вы ни сыпали. Дети не будут расти, если в их рационе будет недостаточно белковой пищи — углеводы не могут служить заменой белкам. Предприятия не могут работать без энергии, сколько бы заказчиков и клиентов у них ни было, и точно так же работа невозможна, если энергии сколько угодно, а клиентов нет.

Закон лимитирующего фактора прост, но его очень часто неправильно понимают. Например, агрономы уверены, что знают, какой состав должен быть у искусственного удобрения, потому что они нашли концентрацию большинства макро- и микроэлементов, которые содержатся в плодородной почве. Но они упускают из виду, что могли быть определены *не все* питательные вещества, необходимые для роста. Не учитывают

они и то, как химические удобрения могут повлиять на популяции почвенных микроорганизмов. Не может ли оказаться так, что применение таких удобрений повредит каким-либо другим функциям плодородной почвы? Не станет ли это дополнительным лимитирующим фактором? Стоит принять во внимание и те факторы, которые ограничивают само производство химических удобрений.

***В* любой момент времени для системы наиболее важен тот входной поток, который оказывает самое сильное лимитирующее воздействие.**

Богатые страны предоставляют развивающимся государствам капитал и технологии, а потом удивляются, почему это экономики стран-получателей помощи по-прежнему не развиваются. И никому не приходит в голову, что капитал и технологии — не основные лимитирующие факторы. Есть и другие.

Основное развитие экономики происходило в те времена, когда главными лимитирующими факторами на производстве были капитал и рабочая сила. С тех самых пор большинство производящих отраслей отслеживают именно эти два фактора (иногда добавляя к ним фактор технологического развития). По мере расширения экономики относительно мировой экосистемы лимитирующие факторы меняются — ими становятся чистая вода, чистый воздух, места для захоронения отходов, приемлемые формы энергии и сырья. В результате традиционные методы управления, учитывающие только капитал и рабочую силу, становятся бесполезными.

Студентам, изучающим системную динамику в Массачусетском технологическом институте, демонстрируют классические модели, в том числе модель корпоративного роста, созданную Джеем Форрестером. Всё начинается с небольшой компании, успешной в бизнесе и потому быстро растущей. Основная проблема, с которой сталкивается эта компания, — как распознать сменяющиеся лимитирующие факторы и что потом с ними делать? Причем изменение факторов происходит как раз из-за того, что компания растет.

Например, компания может нанять менеджеров по продажам, которые настолько хорошо выполняют свою работу, что заказы на

продукцию поступают быстрее, чем про изводство способно их выполнить. Возрастают задержки в исполнении заказов, компания теряет клиентов, потому

что в данном случае лимитирующий фактор — мощность производства. Руководство решает направить капитал в расширение производственной базы. Спешно нанимается персонал для дополнительного производства. На обучение новых сотрудников времени не хватает, и в результате качество продукции ухудшается. Компания снова теряет заказчиков; на сей раз лимитирующий фактор — квалификация работников. Руководство решает вложить средства в обучение персонала. Качество улучшается, заказы снова начинают поступать в большом количестве, и снова выполнить их все не удается, история повторяется...

С подобными пределами, имеющими разные уровни, сталкиваются все системы: поднимающиеся всходы, растущие дети, распространяющиеся эпидемии, создаваемые новые виды продукции, технологические усовершенствования, предприятия и компании, города и населенные пункты, экономика и население. Важно не только понимать, какой фактор является лимитирующим, но и знать, что *любой рост сужает или расширяет пределы* и тем самым меняет сущность ограничения: лимитирующим становится другой фактор. Взаимодействие между всходящим растением и почвой, растущей компанией и рынком сбыта, развивающейся экономикой и ее ресурсной базой всегда динамично, подвержено изменениям. Когда один фактор перестает быть лимитирующим, происходит дальнейший рост, и сам факт роста приводит к изменениям в относительной доступности или дефиците тех или иных факторов. И тогда обязательно проявится следующее ограничение — другой лимитирующий фактор. Настоящее понимание роста выражается в том, чтобы переключать внимание с факторов, имеющихся в изобилии, на те, которых может оказаться недостаточно, то есть те факторы, которые станут лимитирующими в будущем. Только в этом случае можно по-настоящему управлять процессом роста.

Любой существующий объект или система со многими входными и выходными потоками — население, процесс производства, экономика — окружены пределами, распределенными по разным уровням. Когда система развивается, она взаимодействует со своими собственными пределами и влияет на них. Растущий объект и ограниченная среда, которая его окружает, вместе образуют динамическую систему, претерпевающую эволюционные изменения.

Любой существующий объект или система со многими

входными и выходными потоками окружены пределами, распределенными по разным уровням.

Понимание того, что пределы могут встречаться на разных уровнях, и определение следующего лимитирующего фактора все-таки не могут служить гарантией бесконечного роста. У любой физической системы есть конечные пределы, границы окружающей среды, поэтому бесконечный рост невозможен в принципе. Вопрос не в том, чтобы расти бесконечно, а в том, чтобы решить, в каких пределах существовать. Если компания предлагает отличную продукцию или услуги по привлекательной цене, то у нее будет лавина заказов, но только до тех пор, пока не будет достигнута точка, после которой какой-либо лимитирующий фактор приведет к снижению качества продукции или к повышению цены. Если какой-то город обеспечивает всем своим жителям условия существования лучше, чем в других городах, то в него будут стекаться толпы новых жителей до тех пор, пока какой-нибудь из пределов не ограничит способность города удовлетворять те или иные потребности его жителей.*

У роста всегда будут пределы. Они могут быть **внут**ренними, но если их нет, тогда их установит система.

***Jay W. Forrester.* Urban Dynamics. Cambridge, MA: The МГГ Press, 190** 117. (Книга издавалась на русском языке: *Форрестер Дж.* Динамики рпя вития города. М.: Издательство «Прогресс», 1974. 286 с.)**

У роста всегда будут пределы. Они могут быть и внутренними, но если их нет, то их установит сама система. Никакой физический рост не может продолжаться бесконечно. Если руководство компаний, городские власти или население не будут выбирать и устанавливать собственные пределы, ограничивающие рост в соответствии с возможностями поддерживающей среды, тогда пределы выберет и установит сама среда.

Вездесущие запаздывания

Я с ужасом понял, что в моем нетерпеливом стремлении восстановить демократию было что-то едва ли не коммунистическое.

В общем и целом это стремление было рационалистическим.

Я хотел ускорить движение истории, подобно тому, как ребенок поливает растение, чтобы оно быстрее росло.

Я думаю, нам нужно научиться ждать — так же, как мы учимся творить. Нам нужно проявить терпение: посеять зерна, усердно поливать всходы и дать им время взойти — столько, сколько потребуется.

Историю не обманешь — точно так же, как не обманешь растение.

Вацлав Гавел,*

драматург, последний президент Чехословакии и первый президент Чехии

И растению, и лесу, и демократии нужно время, чтобы вырасти. Письмам, опущенным в почтовый ящик, нужно время, чтобы дойти до адресатов. Покупателям нужно время, чтобы усвоить информацию о повышении или снижении цен и изменить свое поведение как потребителей. Время нужно и для того, чтобы построить атомную электростан-

Вацлав Гавел, речь в Институте Франции. Цитируется по газете: International Herald Tribune, 1992, November 13, p. 7.

цию, и для того, чтобы оборудование износилось и вышло из строя, и для того, чтобы в экономику пришли новые технологии.

Мы не устаем поражаться тому, как много времени у нас уходит на самые разные задачи. Джей Форрестер любил повторять, что при моделировании запаздываний в строительстве или производстве нужно опросить всех участников проекта, собрать их представления о величине запаздывания, на основе этих данных сделать собственную оценку, а потом умножить ее на три. (Такая поправка и в самом деле работает — я проверила ее на практике, прикидывая время, нужное для написания этой книги.)

Запаздывания присутствуют везде, во всех системах. Любой запас обязательно связан с запаздыванием. Большинство потоков имеют запаздывания: задержки при поставках, задержки восприятия, запаздывания при производстве, задержки в развитии... Вот несколько примеров запаздываний, которые мы включали в разработанные нами модели:

■ Инкубационный период (промежуток времени от момента заражения до появления клинических симптомов болезни) — это запаздывание может составлять дни или годы, в зависимости от

заболевания.

и Запаздывание между выбросами загрязняющих веществ и их распространением в воздухе, просачиванием в грунтовые воды и накоплением загрязнителей в экосистеме в таком количестве, что это начинает наносить ей вред.

■ Период вынашивания плода и созревания, влияющий на разведение новых пород животных или видов растений (что, в свою очередь, влияет на колебания товарных цен): 4-летний цикл в свиноводстве, 7-летний цикл при разведении коров, 11-летний цикл на плантациях какао.

*** *Dennis L. Meadows.* Dynamics of Commodity Production Cycles. Cambridge MA: Wright-Allen Press, Inc., 1970.**

■ Запаздывание в изменении принятых в обществе и желаемых размеров семьи (не меньше одного поколения).

■ Задержки на переоборудование производственных линий и запаздывания при обороте капитала. Чтобы разработать новую марку автомобиля и вывести его на рынок, нужно от 3 до 8 лет. Новинкой эта модель будет считаться не больше пяти лет. Период эксплуатации в среднем составляет от 10 до 15 лет.

Мы уже говорили о том, что границы системы выбираются в зависимости от того, какие ее особенности нужно изучить. Так же поступают и с запаздываниями. Если вы исследуете колебания, имеющие период в несколько недель, то, скорее всего, можно не учитывать запаздывания продолжительностью в минуты или годы. Если вас интересуют изменения в численности населения и экономике в течение десятков лет, то можно не принимать во внимание колебания с периодом в неделю. В мире многие вещи происходят одновременно, но с самыми разными интервалами, подобно тому, как разные звуки издаются на разной частоте — кто-то пищит, кто-то чирикает, кто-то ревет басом. Для исследования, как правило, важны те запаздывания, чья частота не сильно отличается от частоты изучаемого явления.

В нашем «системном зоопарке» уже встречались примеры того, как сильно влияют на поведение систем запаздывания в циклах обратной связи. Изменение величины задержки может в корне изменить поведение. Если запаздывания можно сделать меньше или больше, то это можно использовать как мощный рычаг воздействия на систему. В самом деле, если в точке принятия решения в системе (ею также может быть человек, если он — часть системы) дается отклик на сигнал, поступивший с запаздыванием, или сигнал пришел вовремя, но отклик дается с задержкой, то принятое решение будет заведомо неэффективным. Воздействие окажется либо слишком сильным, либо недостаточным для достижения цели. С другой стороны, если

воздействие оказывать слишком быстро, это может усилить краткосрочные случайные флуктуации и тем самым увеличить нестабильность. Запаздывания определяют, как быстро система может реагировать, настолько ей удается достичь своей цели и своевременно ли поступает информация в разные части системы. Выходы за пределы, колебания и резкие спады — все это вызывается запаздываниями.

Запаздывания могут объяснить, почему Михаилу Горбачеву удалось объявить перестройку в Советском Союзе буквально в одночасье (это изменение информационной системы), но при этом физическую экономику изменить не удалось (для таких изменений нужны десятки лет). Они же ответственны за то, что после воссоединения Западной и Восточной Германии трудности сохранялись гораздо дольше, чем это предсказывали политики, и многие проблемы актуальны до сих пор. Из-за того, что строительство новых электростанций занимает многие годы, энергетика неизбежно переживает периоды избыточных производственных мощностей, а потом оказывается в условиях недостаточной производительности, и тогда приходится экономить на всем, включая уличное освещение. Выбросы от сжигания ископаемого топлива уже запустили механизмы изменения климата, но океаны планеты реагируют на повышение температуры только через десятки лет, поэтому по-настоящему серьезные последствия мы увидим только спустя одно или два поколения.

Если в циклах обратной связи есть длительные запаздывания, то для управления системой необходимо умение предвидеть. К тому моменту, когда проблема станет очевидной, основные возможности решить **ее** уже будут упущены.

Ограниченная рациональность

Когда каждый отдельный человек прилагает максимальные усилия к тому, чтобы вложить свой капитал в поддержку местной промышленности, и этим побуждает ее еще более увеличить производство, … на самом деле он вовсе не руководствуется общественными интересами и даже не представляет, насколько его действия способствуют их достижению…

Он заботится о собственной безопасности, … преследует только личные цели, … но им руководит невидимая рука, и его действия позволяют достичь результатов, о которых он даже не думал.

Преследуя личную выгоду, он зачастую способствует более эффективному развитию общества, чем если бы планировал это сознательно.

Адам Смит[20], экономист

Было бы просто замечательно, если бы такая «невидимая рука» рынка действительно приводила отдельных людей к решениям, которые способствовали бы общему благу. Тогда не только эгоизм считался бы общественной добродетелью, но и математическое моделирование экономики стало бы гораздо более простой задачей. Не было бы необходимости учитывать потребности других людей или особенности систем со сложными обратными связями. Неудивительно, что модель Адама Смита уже двести лет остается такой притягательной…

К сожалению, мир приводит нам массу примеров того, как люди, действуя рационально для достижения наилучших краткосрочных результатов, в итоге получают нечто, что не радует пикого. Туристы наводняют Гякяйг.кие острова и горнолыжные курорты Швейцарии, а потом жалуются, что вся прелесть этих мест разрушена толпами туристов. Фермеры производят излишки пшеницы, масла, сыра, а потом страдают от падения цен на них. Рыбаки вылавливают слишком много рыбы и тем подрывают источник собственного благосостояния. Корпорации принимают совместные инвестиционные решения, которые приводят к цикличным спадам деловой активности. Беднейшие слои населения производят на свет столько детей, что не могут их вырастить.

Почему?

Причину всего этого Герман Дейли, экономист Всемирного банка, метко назвал «невидимой ногой», а научно то же самое явление называется **ограниченной рациональностью** — этот термин ввел Герберт Саймон, лауреат Нобелевской премии по экономике.[21]

Теория ограниченной рациональности полагает, что люди принимают вполне рациональные решения, но на основе только той информации, что им доступна в данный момент. Идеально полной информации не бывает, особенно об удаленных частях системы. Рыбаки не знают, сколько рыбы еще осталось, и тем более им неизвестно, сколько рыбы выловят в тот же день другие рыбаки.

Предприниматели не могут знать, во что планируют вложить

средства другие предприниматели, что захотят приобрести покупатели, насколько конкурентоспособной окажется выпущенная продукция. Им неизвестна доля рынка, которую удалось занять, неизвестен и общий размер рынка. Информация обо всем этом заведомо неполна, к тому же поступает с запаздыванием, поэтому и отклики

на нее имеют запаздывание. Из-за этого в бизнесе постоянно случаются промашки с инвестициями - то их недостаточно, то наоборот, слишком много.

Саймон говорил, что мы не всеведущи, что нам не под силу рационально оптимизировать все на свете. Наши действия довольно неумелы. Мы пытаемся как можно лучше удовлетворить свои потребности, прежде чем переходить к следующему решению.[22] Стараемся достичь сиюминутных целей и делаем это рационально, но основываемся только на том, что известно в данный момент. А многое не известно — ведь то, что планируют другие, мы узнаем только после того, как они предпримут конкретные действия. Очень редко бывает так, что для принятия решения доступно все разнообразие вариантов. Зачастую мы не можем предсказать (или предпочитаем не думать об этом) влияние наших действий на систему в целом. Вместо того, чтобы найти оптимальное решение в долговременной перспективе, мы выбираем вариант из довольно ограниченного списка сиюминутных решений и упорно придерживаемся такой тактики. Только совершенно тупиковая ситуация может заставить нас изменить поведение.

Ученые, изучающие поведение, утверждают, что мы даже не можем правильно интерпретировать ту информацию, что нам доступна, — не полную и не всегда верную. Мы неверно оцениваем риск, полагая что-то слишком опасным, тогда как на самом деле опасность преувеличена,] но при этом пренебрегаем реально существующей опасностью. Наше внимание поглощено настоящим; недавним событиям уделяется слишком много внимания, а прошлому — слишком мало. Мы сосредоточены на текущих событиях, вместо того, чтобы интересоваться поведением в долговременной перспективе. Не принимаем в расчет будущее и не учитываем экономические и экологические последствия. Не придаем должного значения поступающим сигналам. Отсекаем новости, которые нам не нравятся, и информацию, которая идет вразрез с нашими мысленными моделями. Фактически, мы не можем принять решение, чтобы максимизировать наше собственное благо, и уж тем более никому нет дела до блага системы в целом.

Когда теория ограниченной рациональности бросила вызов

политэкономии Адама Смита, господствовавшей двести лет, развернулась ожесточенная полемика — еще бы, ведь эти теории так далеки друг от друга. Экономическая теория Адама Смита считает, что, во-первых, *homo economicus* действует исключительно рационально, опираясь на полную информацию, а во-вторых, деятельность большого количества *homo economicus* складывается в общий результат, максимально благоприятный для каждого.

Ни одно из этих утверждений не выдерживает проверки действительностью. В следующей главе, посвященной системным ловушкам и возможностям, мы рассмотрим самые часто встречающиеся структуры, в которых ограниченная рациональность приводит к плачевным результатам. Классические примеры — пристрастие к алкоголю и наркотикам, сопротивление внешнему влиянию, гонка вооружений, стремление к худшему, трагедия общин... Но в этой главе важно подчеркнуть самое важное последствие, к которому приводит непонимание ограниченной рациональности.

Представьте себе, что по каким-то причинам вас вырвали из вашего привычного окружения в обществе и поставили на место кого-то, чье поведение вы никогда не понимали. Допустим, вы всю жизнь критиковали действия правительства, а тут вдруг оказались в его составе. Или на работе вы всегда выступали против начальства, а теперь сами ли начальником (или наоборот). Или вы боролись против действий корпораций, разрушающих окружающую среду, а теперь в одиночестве стали ответственным лицом в корпорации, принимающим решения, которые оказывают воздействие на природу. Если бы подобная «перемена мест» происходила почаще, это очень способствовало бы расширению кругозора...

На новом месте вас ожидают иные информационные потоки, иные стимулы, препятствия, цели, сложности, давление и принуждение — все, что связано с новым положением в обществе, иная ограниченная рациональность. Конечно, есть шанс, что вы не забудете опыт, приобретенный на прежнем месте, и сможете с его помощью изменить систему к лучшему, но в реальной жизни бывает совсем не так. Как только бывший работник становится начальником, он начинает воспринимать сотрудников не как заслуживающих уважения партнеров в достижении общей цели, а как статью расходов, которую неплохо бы уменьшить. Если человек становится финансистом, он начинает инвестировать слишком много в периоды подъема и слишком мало в периоды упадка — точно так же, как все другие финансисты. Если человек внезапно обеднел, то его интересует краткосрочное будущее, ближайшие возможности и шансы, потребности, связанные с

количеством детей в семье. Поставьте себя на место рыбака, у которого лодка заложена, на шее семья, которую надо кормить, к тому же нет информации о реальном количестве оставшейся рыбы — вы будете вылавливать слишком много, подрывая собственное будущее.

Чтобы студенты могли на собственном опыте ощутить такие ситуации, мы проводим для них обучающие игры — в них системы приближены к реальности, потоки информации ограничены и разнятся для каждого из участников. Играя, студенты вылавливают всю рыбу, какая есть — так же, как это делает отчаявшийся рыбак. Оказываясь на месте министров развивающихся стран, они в первую очередь заботятся о потребностях промышленности и в последнюю — о потребностях людей. Оказываясь «сливками общества», заботятся о процветании своего семейства и ближайшего окружения; попадая в низшие слои, становятся апатичными или, наоборот, бунтуют. На их месте вы поступали бы так же. В печально знаменитом Стэнфордском тюремном эксперименте, который проводил психолог Филипп Зимбардо, участники (самые обычные студенты!) в поразительно короткий срок усвоили все самые неприглядные особенности поведения охранников и заключенных.*

Понимание того, что решения отдельных людей рациональны только в границах доступной им информации, не может служить оправданием ограниченному и недальновидному поведению. Оно лишь объясняет, почему такое поведение возникает. В границах того, что отдельный человек может видеть и знать в отдельной части системы, его поведение рационально. Если вырвать человека из его привычного окружения (привычной ограниченной рациональности) и поместить на его место кого-то другого, принципиально ничего не изменится. Обвинениями и упреками тоже ничего добиться нельзя.

Чтобы изменить ситуацию, прежде всего надо выйти за рамки информации, доступной в данной точке, и получить общее представление о системе в целом. Обладая более широким кругозором, можно преобразовать информационные потоки, цели, стимулы и препятствия таким образом, чтобы отдельные, ограниченные, рациональные действия действительно приводили к результатам, благоприятным для всех.

Просто удивительно, как быстро и легко меняется поведение, если хотя бы немного раздвинуть ограниченную рациональность за счет более полной и оперативной информации.

***Philip G. Zimbardo.* On the Ethics of Intervention in Human Psychological Research: With Special Reference to the Stanford**

Prison Experiment // Cognition. 2. no. 2 (1973). 243-56.

Некоторые системы имеют структуру, которая позволяет им хорошо работать, несмотря на ограниченную рациональность. Правильные обратные связи приходят в правильные точки и в правильное время. В обычных условиях

*** Эту историю автору рассказали на конференции в Дании (Ко11еко11е, Danmark, 1973).**

История с электросчетчиками в Голландии

В окрестностях Амстердама есть жилой район, где в каждом домике живет отдельная семья. Все дома были построены одновременно, все они одинаковы. Точнее, почти одинаковы. По каким-то неведомым причинам в одних домах электрические счетчики установили в подвале, а в других — прямо в прихожей.

Сами счетчики были одинаковыми — это всем знакомый прибор с вращающимся горизонтальным колесиком за стеклом. Чем больше электроэнергии расходуют обитатели дома, тем быстрее вращается колесико, отсчитывая потребленные киловатт-часы.

Когда в 1970-х годах ввели эмбарго на поставки нефти и в западных странах разразился энергетический кризис, в Голландии стали внимательно анализировать потребление электроэнергии. Выяснилось, что в практически одинаковых домах потребление разное — в одних на треть меньше, чем в других — и никто не мог объяснить, почему. Цена на электроэнергию была одинаковой для всех домовладений; семейства обладали примерно одинаковым достатком.

Оказалось, что причина крылась в месте, где располагался электросчетчик. В тех семьях, где счетчик был установлен в подвале, на его показания обращали меньше внимания — просто потому, что в подвал люди заходят редко. В результате энергии расходовалось больше. В семьях, где счетчик стоял прямо в прихожей, вращающееся колесико бросалось в глаза, напоминая о счете за электричество, и в результате потребление было меньше.*

ваша печень получает всю необходимую информацию, чтобы выполнять свою функцию. Б традиционных культурах и в системах, на которые не оказывается внешнее воздействие, среднестатистический человек, вид или популяция, предоставленные самим себе, спокойно живут, и при этом система в целом стабильна. Такие системы (и многие другие тоже) обладают свойством саморегуляции. В них нет внутренних проблем, им не нужно внешнее управление или навязанные кем-то извне правила. .

Со времен Адама Смита считалось, что свободный рынок с

открытой конкуренцией обладает правильной структурой и способностью к саморегуляции. В какой-то степени он действительно может регулировать себя сам. Но в ряде случаев (и это очевидно любому, кто удосужится приглядеться) рынок с этой функцией не справляется. Свободный рынок позволяет производителям и потребителям, имеющим наилучшую информацию о возможностях производства и потребительских предпочтениях, принимать по-настоящему независимые и локально рациональные решения. Но эти решения сами по себе не могут исправить стремление всей системы к созданию монополий (со всеми их побочными эффектами и последствиями), к дискриминации беднейших слоев населения и к выходу за пределы поддерживающей способности окружающей среды.

Позволю себе перефразировать известную молитву: «Господи, дай мне терпение, чтобы использовать ограниченную рациональность в тех системах, где структура это позволяет, дай силы, чтобы изменить структуру тех систем, где ограниченной рациональности недостаточно, и дай мне мудрость, чтобы отличить одно от другого!»

Ограниченная рациональность каждого участника системы может приводить к решениям, которые вовсе не благоприятны для системы в целом.

Ограниченная рациональность каждого участника системы, определяемая информацией, стимулами, препятствиями, целями, принуждением и давлением, оказываемым на этого участника, может приводить (а может и не приводить) к решениям, увеличивающим благополучие системы в целом. Если не приводит, то менять одних участников системы на других совершенно бесполезно — состояние системы от этого не улучшится. Добиться прогресса можно только изменением структуры системы — изменением потоков информации, стимулов, препятствий, целей, принуждения и давления, оказываемого на отдельных участников системы.

5

ГЛАВА

Системные ловушки и возможности

Рациональная элита… Они знают умные слова, всё, что нужно знать о науке и технике, но им катастрофически не хватает кругозора.

Среди них есть марксисты и иезуиты, выпускники Гарварда со степенями по деловому администрированию и кадровые военные… И у всех одна и та же проблема: как заставить их конкретную систему работать.

А цивилизация тем временем… становится все менее понятной и все больше теряет нить развития.

Джон Рэлстон Сол[23], политолог

Запаздывания, нелинейности, отсутствие четких границ и другие подобные свойства, озадачивающие нас, присущи практически всем системам. В принципе, такие характеристики систем нельзя изменить, да и не нужно. Мир в целом нелинеен. Пытаться сделать его линейным, чтобы нам было проще им управлять и вести расчеты — дело неблагодарное, даже если бы это было технически выполнимо. Но сделать мир линейным невозможно. Границы зависят от конкретных проблем, они непостоянны, иногда непонятны, перепутаны между собой, но при этом необходимы для любой организации и четкого представления о ее работе. Чтобы сложные системы озадачивали нас меньше, надо учиться определять их поведение, ценить и использовать сложность мира.

Но некоторые системы не просто удивляют нас — они обладают поистине извращенным поведением. Их структура задает поведение, которое неизбежно приводит к проблемам, причем очень серьезным. Системные проблемы могут быть разными, некоторые из них уникальны, но большей частью они все-таки похожи друг на друга. Те системные" структуры, которые генерируют часто встречающиеся типы проблемного поведения, мы называем архетипами. Вари анты такого поведения — алкогольная и наркотическая за висимость, стремление к худшему, эскалация конфликтов… Они настолько вездесущи, что за неделю мне без труда удалось набрать достаточно примеров из подшивки газеты International Herald Tribune — они прекрасно иллюстрируют каждый из архетипов, описанных в этой главе.

Просто понимать структуру архетипов, генерирующие проблемное поведение, недостаточно. Пытаться загнать их в какие-то рамки абсолютно бесполезно, надо менять их структуру. Вину за разрушения, к которым они способны привести, часто возлагают на отдельных участников систе мы или какие-то события, но на самом деле все это — следствие самой структуры системы. Обвинять кого-то, призывать к порядку, увольнять, «закручивать гайки», надеяться на более благоприятное стечение

обстоятельств или пытаться изменить границы — эти меры пытаются применять постоянно, но они не могут исправить проблемы, обусловленные самой структурой. Вот почему я называю такие архетипы «ловушками».

Но в системные ловушки можно и не попадать. Их надо распознавать заранее и либо избегать таких ситуаций, либо изменять структуру — переформулировать цели, ослаблять, усиливать или изменять циклы обратной связи, добавлять новые обратные связи. Вот почему я говорю, что архетипы — это не только ловушки, но и возможности.

Сопротивление внешнему влиянию: неудачные попытки все исправить

«Я думаю, инвестиционный налоговый кредит уже показал себя как эффективный экономический стимул», — заявил Джозеф Данкан, главный экономист корпорации Dun & Bradstreet…

Но скептиков это не убеждает. Они утверждают, что положительное влияние инвестиционных кредитов на экономический рост доказать невозможно — за последние тридцать лет их давали, меняли, отзывали, а потом давали и отзывали снова, и так без конца.

Джон Кушман-младший.
International Herald Tribune

Как вы уже знаете из второй главы, основной признак наличия в системе балансирующего цикла обратной связи — отсутствие больших изменений, даже если внешние силы постоянно воздействуют на систему. Балансирующие циклы оказывают стабилизирующее влияние, поэтому тип поведения системы не меняется. Такие циклы замечательно подходят во многих случаях, например, для поддержания температуры тела в районе 36,6 °С, но некоторые другие виды поведения, неизменные на протяжении долгого времени, вообще-то нежелательны.

Попытки «навести порядок» с помощью новых технологий и внешнего влияния результатов не дают — усилия пропадают даром, и год за годом нежелательное поведение продолжается. Это системная ловушка называется «сопротивление внешнему влиянию». Или, если угодно — «хотели как лучше, а получилось как всегда». Примеров можно привести много. В западных странах год за годом фермерские программы пытаются предотвратить перепроизводство, но оно никуда не исчезает. С наркотиками пытаются не просто бороться — им объявляют

войну, но наркомания распространяется все шире. Нет никаких подтверждений тому, что инвестиционные налоговые кредиты и многие другие меры стимуляции инвестирования дают хоть какой-то положительный эффект в периоды, когда рынок не поощряет инвестирование. Какие только меры ни предпринимались в США, чтобы уменьшить затраты на систему здравоохранения — до сих пор никакого результата нет. Десятилетиями проводятся программы по «созданию рабочих мест» — и все равно безработицу не удается удержать на низком уровне. Наверняка вы и сами можете привести массу примеров того, как постоянно прилагаемые усилия все равно ни к чему не приводят.

Сопротивление внешнему влиянию проистекает из ограниченной рациональности участников системы, каждый из которых преследует собственные цели. Каждый участ ник отслеживает состояние системы по какому-либо важному для себя параметру — это могут быть доходы, цены, жилье, наркотики, инвестиции — и сравнивает его значение со своей собственной целью, желаемым значением. Если между ними есть разница — пытается предпринять что-то, чтобы исправить ситуацию. Обычно чем больше разница между фактическим и желаемым значением, тем активнее будут предпринимаемые действия.

Сопротивление попыткам что-либо изменить возникает тогда, когда цели подсистем отличаются и не согласуются между собой. Представьте себе отдельный запас - - например, доступность наркотиков на улицах города — и разных участников системы, пытающихся изменить этот запас в разных направлениях. Наркоманы хотят, чтобы доступность была как можно больше; агентства по контролю за оборотом наркотиков пытаются сделать ее уровень как можно ниже; продавцы наркотиков предпочитают средний уровень, чтобы цены не были ни слишком высокими, ни слишком низкими. Среднестатистический гражданин беспокоится, как бы его не ограбили на улице те, кому нужны деньги на очередную дозу. И все участники системы настойчиво пытаются добиться каждый своей цели.

Если любой из участников получает преимущество и изменяет запас (доступность наркотиков) в одном направлении (например, правоохранительным органам удается перехватить на границе большую партию), то все остальниˆ удваивают свои усилия, чтобы восстановить прежнюю ситуацию (уличные цены растут, наркоманы совершают больше нападений в попытке раздобыть деньги на ежедневную дозу, более высокие цены дают больше прибыли, поставщики используют их, чтобы обеспечить себя новыми средствами и каналами доставки — покупают лодки,

самолеты, чтобы транспортировать свой товар в обход пограничных служб). Все эти разнонаправленные усилия загоняют систему в тупик, и в результате доступность наркотиков остается примерно такой же, как и раньше, хотя на самом деле этого не хотел никто.

В таких системах с участниками, тянущими ее в разных направлениях, все прилагают массу усилий, но она все равно пребывает в состоянии, которое нежелательно для всех. Если какой-то из участников ослабляет хватку, остальные смещают систему ближе к желаемому для себя состоянию и дальше от целей того, кто сдался. Система фактически работает как передаточное звено: активизация усилий одного участника приводит к активизации всех остальных. Остановить этот процесс очень трудно. Вы же не обратитесь ко всем участникам такой системы с призывом сбавить обороты? Это возможно только в тех системах, где участники доверяют друг другу и все вместе соглашаются уменьшить активность.

Последствия от сопротивления внешнему влиянию могут быть очень тяжелыми, даже трагическими. В 1967 г. румынское правительство решило, что надо увеличить численность населения, и запретило аборты всем женщинам младше сорока пяти лет. За нарушение запрета предусматривалось уголовное наказание. На некоторое время сразу после запрета рождаемость в стране утроилась. Но затем возобладало сопротивление внешнему воздействию.

Хотя и контрацептивы, и аборты оставались под запретом, рождаемость постепенно снизилась практически до прежнего уровня. В первую очередь это объяснялось тем, что по стране распространились нелегальные аборты — опасные, увеличившие смертность среди женщин, решившихся на эту процедуру, в три раза. Кроме того, многих нежеланных детей, родившихся только потому, что аборты были запрещены, родители бросили или отдали в сиротские приюты. Румынские семьи были слишком бедны, чтобы вырастить столько детей, сколько возжелало правительство, и люди это понимали. Поэтому противились попыткам властей навязать большой размер семьи. Противились часто ценой собственного здоровья и благополучия тех детей, кто оказался в приюте.

Один из способов преодолеть сопротивление внешнему влиянию — перебороть его силой. Если в вашем распоряжении достаточно власти и силы и вы можете контролировать ее применение, то силовой подход может сработать, но только ценой всеобщего возмущения и негодования. И если впоследствии вы хоть на минуту ослабите хватку, может последовать взрыв.

Именно так произошло в Румынии. Румынский диктатор Николае Чаушеску много лет пытался силой преодолеть сопротивление собственного народа. Когда же его правительство пало в 1989 г., его немедленно расстреляли вместе с женой, а детей приговорили к тюремному заключению. Первое, что сделало новое правительство — сняло запрет на аборты и средства контрацепции.

Другой способ преодолеть сопротивление внешнему влиянию противоречит тому, что говорит интуиция, поэтому обычно он даже в голову никому не приходит. Отступить. Прекратить воздействие извне, ведь оно все равно не дает результата. Перенаправить силы и средства всех сторон с силового противостояния на что-нибудь более важное и полезное. Таким путем вы не добьетесь от системы желаемого, но последствия вовсе не будут такими ужасными, как кажется, поскольку большая часть ваших усилий

была направлена на то, чтобы подавить сопротивление, вызванное вашими же усилиями. Если вы снимете это давление, тогда те, кто вам противостоит, тоже ослабят ответные действия. Так произошло в 1933 г. в США, когда был отменен «сухой закон». От хаоса, воцарившегося в стране с введением запрета на алкоголь, удалось избавиться почти повсеместно.

Такое взаимное отступление позволяет более подробно изучить влияние обратных связей в системе, разглядеть за ними ограниченную рациональность и найти пути к тому, чтобы все участники системы достигли своих целей, одновременно смещая систему к состоянию, более благоприятному для всех.

Например, если какая-то страна хочет увеличить рождаемость, первым делом надо спросить сами семьи, почему в них мало детей. Сразу выяснится, что это вовсе не потому, что люди не любят детей. Вероятно, им не хватает средств, времени, жилья, ощущения безопасности... .В Венгрии практически одновременно с Румынией озаботились низкой рождаемостью, ведь она ведет к недостатку рабочей силы, а это чревато экономическим спадом. Венгерское правительство выяснило, что одна из причин малого количества детей в семьях заключалась в нехватке жилой площади, поэтому оно разработало программу по предоставлению жилья большим семьям. Программа была успешной лишь отчасти, поскольку кроме проблем с жильем существовали и другие. Но она была гораздо эффективнее румынской политики принуждения и не привела к таким ужасным последствиям.*

Самый действенный метод преодолеть сопротивление — каким-то способом выровнять цели в подсистемах: например,

предложить общую для всех участников цель, позволяющую им выйти за рамки собственной ограниченной ра ■

•Л

World Bank. World Development Report 1984. New York: Oxford University Press, 1984.157; *Petre Muresan and loan M. Copil.* Roninniii. in *B. Berelson, ed.* Population Policy in Developed Countries. New York: McGraw-Hill Book Company, 1974. 355-84.

циональности. Если каждый сможет работать для достижения общей цели, не отвлекаясь на борьбу с остальными (то есть если все циклы обратной связи будут служить одной цели), результаты поразят воображение. Самый известный пример согласования общей цели — подъем экономики во время войны или при восстановительных работах после военных действий или стихийных бедствий.

Еще один пример — шведская демографическая политика. В 30-е гг. XX в. рождаемость в Швеции стремительно уменьшалась, и правительство было очень озабочено таким положением дел. В отличие от Венгрии и Румынии шведское правительство установило в качестве цели не размер семьи, а качество ухода и заботы о детях. Любой ребенок должен быть желанным, и для его воспитания надо сделать все необходимое. Никто из детей не должен испытывать материальную нужду. Каждому должно быть гарантировано отличное образование и медицинское обслуживание. Эти цели были общими для правительства и для населения страны.

Некоторое время рождаемость в стране оставалась низкой. Аборты и контрацепцию никто не запрещал, потому что дети должны быть желанными. Было широко распространено половое воспитание, законодательно облегчен развод, обеспечено бесплатное обслуживание в родильных домах, организована поддержка нуждающихся семей. Значительно увеличились инвестиции в образование и здравоохранение.* С той поры рождаемость в Швеции несколько раз плавно увеличивалась и снижалась, без резких изменений и паники^ потому что вся страна понимала, что есть более важная цель, чем просто увеличение количества шведов.

Выработать общую цель можно не всегда, но этот вариант развития событий, пожалуй, самый предпочтительный. Найти общую цель можно только в том случае, если выйти за рамки узких собственных целей и задуматься с

***Alva Myrdal.* Nation and Family. Cambridge, MA: MIT Press, 1968, (Оригинальное издание: New York: Harper & Brothers, 1941.)**

благополучии в долговременной перспективе, причем для всей системы.

Ловушка: сопротивление внешнему влиянию

Когда различные участники системы пытаются изменить значение запаса каждый в своем направлении, результатом может быть сопротивление внешнему влиянию. Любые действия участников, особенно те, которые окажутся эффективными, приведут лишь к тому, что запас изменится в сторону от целей других участников системы, что породит дополнительное сопротивление. Результат не нравится никому, но все прилагают усилия к тому, чтобы его сохранить.

Способ выхода

Снять давление. Собрать всех участников и перенаправить их силы с взаимного противостояния на достижение целей каждого путем, приемлемым для всех сторон. Или поставить более важную цель, которая стала бы общей для всех.

Трагедия общин (ресурсов общего пользования)

На прошлой неделе лидеры коалиции, выступающей за канцлера Гельмута Коля, вместе с представителями Христианского демократического союза достигли соглашения с находящимися в оппозиции

Социальными демократами. После многомесячного противостояния стороны договорились совместно бороться с наплывом экономических мигрантов путем выработки более строгих требований к лицам, претендующим на получение политического убежища.

*International Herald Tribune**

(овушка под названием «трагедия общин» возникает тогда, < >гда нарастание напряжения или простой физический

► -

(iermans Lose Ground on Asylum Pact: International Herald Tribune. December 15, 1992, p. 5.

рост происходят в общей среде, подверженной эрозии или постепенному разрушению.

Эколог Гаррет Хардин еще в 1968 г. написал статью об

общинах — сейчас она уже считается классикой науки. В качестве примера Хардин использовал общественные! пастбища:

«Представьте себе пастбище, которым может пользоваться любой член общины. Разумеется, каждый пастух стремится к тому, чтобы в его стаде было как можно больше голов скота... Явно или неявно, осознанно или нет, но каждый пастух задается вопросом: "Что, если я добавлю еще одно животное к своему стаду? Будет ли мне это выгодно? "...

Поскольку любой пастух получает выручку с каждой проданной головы скота (и с добавленного животного в том числе), его выгода очевидна — запишем ее как +1...

От последствий чрезмерного выпаса страдают все, но потери каждого отдельно взятого пастуха от ухудшения качества угодий составят лишь малую долю от — 1.

Любой рационально мыслящий пастух придет к выводу, что ему выгодно добавить еще одно животное к стаду. Потом еще одно. И еще... К такому же выводу приходят и все остальные пастухи в общине — все, кто мыслит рационально. В этом и заключается трагедия. Каждый пастух попадает в замкнутый круг, заставляющий его без конца увеличивать стадо. Но ведь пастбище не бесконечно. Мир конечен. Результатом будет полное разрушение, но все как один устремляются к нему, преследуя собственные интересы».

Вот она, ограниченная рациональность во всей красе!

В любой такой системе, прежде всего, есть ресурс, находящийся в общественном пользовании (в данном случае пастбище). Трагедии общин потенциально подвержены т

* ***Garrett Hardin.*** **The Tragedy of the Commons // Science. 162. no. 385 (13 December 1968). 1243-48.**

системы, в которых ресурс не просто ограничен, а еще и ухудшается, разрушается при слишком интенсивном использовании. После определенной критической точки начнет работать закономерность: чем меньше останется ресурса, тем меньше его способность к самовосстановлению, и тем скорее он будет полностью разрушен. Когда травы на пастбище остается мало, коровы полностью выедают стебли и повреждают корни, и тогда новая трава вырасти не может. Корни уже не удерживают почву, ее смывают дожди. Чем меньше остается почвы, тем хуже растет трава, и далее по кругу. Очередной усиливающий цикл обратной связи нарастает, как снежный ком.

В общественной системе также должны быть потребители ресурса (в нашем случае — коровы и их хозяева), у которых есть стремление увеличивать численность, причем это увеличение происходит со скоростью, *на которую никак не влияет состояние*

общественного ресурса. У каждого отдельно взятого пастуха нет никаких оснований или стимулов, нет сильной обратной связи к тому, чтобы стремиться предотвратить перевыпас и не увеличивать количество скота на общественном пастбище. Наоборот, их выгода от увеличения стада очевидна.

В Германии каждый отдельно взятый иммигрант, просящий политическое убежище, рассчитывает получить выгоду от гостеприимных законов этой страны. У него нет никаких оснований предполагать, что Германию уже на наводнил поток таких же мигрантов, и что это неизбежно приведет к ужесточению законов. Наоборот, из-за того, что и Германии начали обсуждать такое ужесточение, иммигранты стали только больше торопиться, чтобы успеть проскочить до того, как законы станут строже!

Трагедия общин возникает там, где обратная связь ресурса либо *сильно запаздывает,* либо *приходит не в точку* и не ограничивает численность потребителей ресурса.

Чем больше потребителей ресурса, тем интенсивней он расходуется. Чем больше израсходовано, тем меньше оста ется на долю каждого. Когда потребители следуют ограниченной рациональности общин («С какой стати *именно я* должен ограничивать свое стадо?»), никому из них нет смысла уменьшать собственное потребление. Но в один прекрасный день скорость расходования ресурса превысит возможности его восстановления. Поскольку обратной связи, ограничивающей потребление каждого, нет, пере-потребление будет продолжаться, а ресурс истощаться. В конце концов усиливающий цикл, ответственный за эрозию, приведет к полному разрушению ресурса, и в результате пострадают все потребители.

Наверняка вы считаете, что никакая группа людей не может вести себя так недальновидно, чтобы подорвать существование собственной общины. Однако случаев, когда «трагедия общин» может привести и действительно приводила к трагедии, очень много. Вот лишь несколько примеров.

■ Неограниченный доступ в национальные парки и заповедники может привести к тому, что толпы посетителей разрушат всю природную красоту.

■ Использование ископаемого топлива приносит явную| и немедленную пользу каждому потребителю, несмотря на то, что выбросы углекислого газа от его сжигания приводят к увеличению концентрации парниковых газов в атмосфере и вызывают глобальное изменение климата.

■ Каждая семья может иметь столько детей, сколько захочет, но расходы на образование, здравоохранение и обеспечение благоприятной окружающей среды для детей ложатся на все

общество, и это может привести к тому, что оно не сможет поддерживать их всех (Именно этот пример натолкнул Хардина на мысль на писать статью, ставшую впоследствии знаменитой.)

Все эти примеры объединяет общая черта: чрезмерная эксплуатация возобновимых ресурсов. Такую структуру в нашем «системном зоопарке» вы уже встречали. Трагедия может скрываться не только в использовании общественных ресурсов, но также и в использовании общественных стоков, в которые поступают все виды отходов и загрязнений. Семья, компания, население страны смогут снижать расходы, увеличивать доходы или расти быстрее, если с их отходами будет разбираться все сообщество (перерабатывать или захоранивать — уже неважно). Если вам самим приходится жить лишь с малой частью собственных отходов (или вообще без них, если их уносит ветром или удается отправить вниз по течению), это дает большое преимущество. И у того, кто загрязняет, нет никаких причин перестать это делать. В таких случаях обратная связь, влияющая на скорость использования общественного ресурса — как источника, так и стока — слишком мала.

Если вы считаете, что логику потребителя общественного ресурса сложно понять, спросите себя, насколько вы сами склонны договориться с соседями, чтобы подвозить друг друга на работу, а не ездить каждому в своей машине? А ведь это способно существенно уменьшить загрязнение воздуха... Как часто вы убираете за собой, если где-то намусорили?

Структура общин поощряет эгоистичное поведение, делает его более выгодным и потому более распространенным, чем ответственное поведение в заботе обо всем сообществе и о будущем.

Трагедии общин можно избежать, и таких способов три.

■ *Обучать и убеждать.* Нужно помочь людям увидеть последствия неумеренного использования обществен' ного ресурса. Надо обращаться к моральным принципам, призывать к умеренности. Нарушение этих правил должно ассоциироваться в обществе с осужденном и презрением.

■ *Приватизировать общественный ресурс.* Его необходимо разделить таким образом, чтобы каждый получал результат от своих собственных действий. Если кто-то из индивидуальных потребителей утратит чувство меры и выйдет за пределы емкости своего собственного ресурса, то последствия затронут только его самого и никак не отразятся на остальных.

■ *Управлять общинами.* Гаррет Хардин называл этот вариант «взаимным принуждением по общему согласию». Управление может принимать разные формы, от полного запрета

определенных видов деятельности до распределения квот, выдачи разрешений и лицензий, введения налогов и экономических стимулов. Чтобы эти меры дали результат, управление должно подкрепляться силами правопорядка и системой наказаний и штрафов.

Первое из предлагаемых решений — метод убеждения — пытается удержать уровень потребления общественного ресурса достаточно низким за счет морального давления, чтобы ресурсом не злоупотребляли. Второй, приватизационный, приводит к возникновению непосредственной обратной связи между состоянием ресурса и теми, кто его использует: прибыли и потери достаются непосредственно тому, кто принимал решение. Владелец ресурса по-прежнему может злоупотреблять им, но теперь это можно отнести только на счет его собственной глупости или невежества. Третье решение — управление — вводит косвенную обратную связь между состоянием ресурса и его потребителями, через внешнего регулятора. Чтобы такая обратная связь действительно работала, регулятор должен быть достаточно компетентен, чтобы отслеживать и правильно определять состояние ресурса, к тому же он должен располагать эффективными мерами воздействия и действительно заботиться о благе всего сообщества (то есть не должно быть ни проявлений слабости, ни плохой информированности, ни коррупции).

В некоторых «примитивных» культурах управление общественными ресурсами шшлне эффективно велось на протяжении поколений, потому что была система убеждений и соответствующего воспитания. И все же Гаррет Хардин не считает такой способ надежным. Если общественные ресурсы защищены только традициями или все строится на доверии, то в любой момент ситуацию могут испортить те, кто не уважает традиции или не имеет совести.

Приватизация в этом отношении более надежна. Общество позволяет некоторым своим представителям учиться на собственных ошибках и набивать собственные шишки. Но многие ресурсы — атмосферу, рыбу в море — приватизировать нельзя в принципе. Для таких случаев остается только вариант «взаимного принуждения по общему согласию».

В жизни очень много подобных взаимно-принуждающих договоренностей, и многие из них настолько привычны, что вы не способны забыть о них и следуете им автоматически. Каждая из них ограничивает свободу злоупотребления общественным ресурсом, оставляя возможность его свободного использования. Приведу несколько примеров.

■ То, что все деньги сосредотачиваются в банках, лично вам

никакой прямой выгоды не приносит, но от этого может быть косвенная польза. Сейфы, сигнализация и другие защитные средства, которыми располагает банк, подкрепленные существованием полиции и мест заключения для правонарушителей, не дают злоупотреблять банками как общественным ресурсом. Ваша польза состоит в том, что ваши собственные средства в банке тоже находятся под охраной.

■ Вы не имеете права пользоваться частотами, на которых ведется теле- и радиовещание. Чтобы использовать соответствующее оборудование, нужно сначала получить лицензию на вещание. Если бы ваша свобода использовать эти частоты не была ограничена, эфир превратился бы в мешанину самых разных сигналов.

■ Многие городские системы сбора мусора обходятся так дорого, что домовладениям приходится платить за вывоз мусора в зависимости от количества, которое они производят, — исходный общественный ресурс теперь регулируется системой платежей.

Обратите внимание, «взаимное принуждение по общему согласию» в этих примерах принимает самые разные формы. Светофоры порциями выдают право проезда через перекресток, распределяя доступ к общественному ресурсу в порядке очередности. Парковка регулируется счетчиками, фиксирующими время стоянки и рассчитывающими ее стоимость. Банки используют физические преграды и препятствия, подкрепляя их угрозой серьезного уголовного наказания. Право вещания на определенных частотах распределяется с помощью лицензий, выдаваемых государственными организациями. Взимание платы за вывоз мусора вводит непосредственную обратную связь между использованием общественного ресурса и экономическими последствиями этого использования для каждого домовладения.

Большинство людей соблюдают правила, установленные регулятором, практически всегда — они взаимно согласились с этими правилами, потому что всем понятна их цель. Но всем системам с таким регулированием обязательно нужно, чтобы существовала полиция и работал закон, предусматривающий уголовную ответственность для тех, кто правила не соблюдает.

Ловушка: трагедия общин

Когда ресурс находится в общественном пользовании, каждый потребитель получает непосредственные блага от его использования. Но при злоупотреблении ресурсом негативные последствия распределяются на всех потребителей. Из-за этого обратная связь от состояния ресурса к потребителям, принимающим решения, очень слаба. В результате ресурс используется слишком интенсивно; он истощается, пока не разрушается полностью, становясь недоступным для всех.

Способ выхода

Убеждать и обучать потребителей ресурса, чтобы они представляли себе последствия, к которым приведет злоупотребление ресурсом. Можно также установить или усилить обратную связь, приватизировав ресурс, — тогда каждый потребитель будет ощущать на себе прямые последствия собственных действий. Для тех ресурсов, которые приватизировать невозможно, необходимо регулировать доступ потребителей к ним.

Стремление к худшему

Во время этого спада британцы обнаружили, что… экономики при каждой возможности падает еще ниже. Даже стихийные бедствия теперь служат предвестниками дальнейшего падения,

В воскресенье газета Independent опубликовала на первой странице статью где говорилось о том, что «пожар в Виндзорском замке — это угрожающий симптом для всей страны подчеркивающий новое состояние государства полную неспособность к чему бы то ни было…»!

Лорд Пестон, выразитель мнения торговый и промышленных кругов, настаивает «Мы знаем, что следует делать но по какой-то причине не делаем этого».

Политики, бизнесмены и экономисты говорят что все дело в недостаточном уровне образования, которое получает молодежь что по всей стране работники и руководители недостаточно компетентны, что инвестиции недостаточны, а

политики неправильно руководят экономикой.

Эрик Ипсеь International Herald Tribune

Некоторые системы не только противятся внешнему влиянию и пребывают в неизменно плохом состоянии — их положение становится все хуже. Этот архетип называют «стремление к худшему». Примерами могут служить поте ря доли рынка в бизнесе, постоянное ухудшение качества услуг в больницах, все большее загрязнение рек и воздуха увеличение полноты вопреки всем диетам, состояние бесплатных школ в США. И в том же ряду мои собственны бесплодные попытки начать бегать по утрам.

Erik Ipsen. **Britain on the Skids: A Malaise at the Top: Internationa Herald Tribune, December 15,1992, p. 1.**

Участник системы в этом цикле обратной связи (британское правительство, бизнес, больница, располневший человек, директор школы, любитель бега по утрам), как водится, имел некую цель, хотел привести систему в состояние, отличающееся от текущего. Когда есть разница между желаемым и фактическим, мы предпринимаем какие-то действия. Пока что мы имеем обычный балансирующий цикл обратной связи, который пытается поддержать состояние системы на желаемом уровне.

Но в этой системе есть разница между фактическим состоянием системы и ощущаемым состоянием. *Участник системы склонен больше верить плохим новостям, чем хорошим.* Когда текущее состояние меняется, лучшие результаты подвергаются сомнению и отбрасываются, а худшие застревают в памяти. Действующее лицо в нашей системе воспринимает ситуацию хуже, чем она есть.

В довершение всего, в этом архетипе *желаемое состоянии системы зависит от ощущаемого состояния.* Точки отсчета не абсолютны. Когда ощущаемое состояние ползет вниз, то и цели становятся скромнее. Мы часто слышим фразы: «Ну, а вы на что рассчитывали?», «Что ж, в этом году мы сработали не намного хуже, чем в прошлом», "Оглядитесь вокруг, у всех остальных тоже проблемы».

Балансирующий цикл обратной связи, который должен поддерживать состояние системы на приемлемом уровне, уступает усиливающему циклу, тянущему систему вниз. Чем хуже ощущаемое состояние системы, тем ниже становится желаемое состояние. Чем ниже желаемое состояние, тем меньше разница между ощущаемым и желаемым, тем менее активные меры мы принимаем. Чем слабее наши действия, тем хуже состояние системы. Если не воспрепятствовать этому циклу, он приведет к постоянному ухудшению состояния системы.

Другое название такой системы — «уменьшение ожиданий»;

ее также называют «синдромом вареной лягушки» по мотивам известной истории (хотя достоверно не известно, правдива ли она). Говорят, что если лягушка внезапно

окажется в горячей воде, она немедленно выпрыгнет, но если поместить ее в холодную воду и начать постепенно нагревать, то лягушка будет безмятежно плавать, пока сварится: «Похоже, становится слегка жарковато. Ну, намного жарче, чем было минуту назад, так что ничего страшного». Стремление к худшему — процесс постепенный, незаметный. Если бы состояние системы ухудшилось разом, мы бы тут же отреагировали и приняли меры. Но ухудшение происходит так медленно, что мы успеваем забыть или просто не верим, насколько лучше было раньше. Все пребывают в состоянии самоуспокоенности, наши ожидания становятся все меньше и меньше, тем меньше усилий мы предпринимаем и тем хуже состояние.

От уменьшения ожиданий есть только два средства спасения. Одно из них состоит в том, чтобы иметь абсолютные точки отсчета, не зависящие от ощущаемого состояния. Дру| гое — сделать ожидания зависимыми от *наилучшего* состояния в прошлом, а не от худшего. Если ощущаемое состояние хоть чуточку улучшилось вместо обычного ухудшения, если за нормальное состояние принимается лучший результат а худший рассматривается лишь как временное отступление назад, тогда та же самая структура системы может повести ко все улучшающемуся состоянию. Если раньше усиливающий цикл работал на ухудшение — «чем хуже ситуация, тем хуже я буду действовать, и ситуация станет еще хуже», то теперь он потянет систему вверх — «чем лучше идут дела, больше сил я приложу, чтобы все стало еще лучше».

Если бы я действовала именно так и все-таки бегала утрам, то уже могла бы участвовать в марафонах.

Ловушка: стремление к худшему

Если позволять текущему состоянию системы влиять на точки отсчета (стандарты, желаемое состояние системы), особенно если ощущается постоянное ухудшение, то усиливающий цикл обратной связи будет работать на дальнейшее уменьшение ожиданий и ухудшение состояния системы.

Способ выхода

Поддерживать абсолютные точки отсчета, не зависящие от текущего состояния. А еще лучше — позволить ожиданиям расти

вместе с улучшением ситуации, вместо того, чтобы уменьшать их с ухудшением. Ту же самую структуру можно заставить работать на улучшение.

Эскалация конфликта

В воскресенье исламские боевики похитили израильского солдата и угрожали убить его, если из заключения не будет немедленно выпущен основатель влиятельной мусульманской группировки в секторе Газа... Похищение... стало очередным звеном в цепи насилия, ...

три палестинца погибли в перестрелке, а израильский солдат, патрулировавший территорию на джипе, был застрелен из проезжающей мимо машины. В Газе непрерывно происходят столкновения вооруженных камнями демонстрантов с израильскими войсками, которые применяют резиновые пули и боевые патроны.

Ранено не менее 120 человек.

Клайд Хаберманн. International Herald Tribune

В одной из глав я уже приводила пример эскалации конфликта, когда описывала, как дерутся дети. Ты меня толкнул, поэтому я толкну тебя сильнее, а ты дашь мне сдачи ещё сильнее — так и начинаются драки.

«Я дам сдачи!» — вот решение, которое ведет к эскалации конфликта. Работает усиливающий цикл, в котором каждая сторона пытается пересилить противника. Цель у каждой части системы не абсолютная (ее нельзя точно установить, словно желаемую температуру в комнате, на 18 °С), она зави-

* ***t'lyde Haberman.*** **Israeli Soldier Kidnapped by Islamic Extremists: International Herald Tribune, December 14,1992, p. 1.**

сит от состояния другой части системы. Как и многие други системные ловушки, эскалация конфликта не всегда вредна, Если это соревнование в достижении какой-то благой цели, например, в разработке более эффективного компьютера или в поиске вакцины от СПИДа, то эскалация продвигает всю систему к желаемой цели. Но если раскручивается скандал, если возрастает напряженность, враждебность, гнев, если разрабатывается оружие — тогда это действительно ловушка. Самые известные и пугающие примеры — гонка вооружений и те горячие точки на планете, где непримиримые враги живут в непосредственной близости и постоянно находятся на грани вооруженного конфликта.

Каждый участник системы определяет желаемое для себя состояние в зависимости от состояния другой сторон и постоянно пытается подавить противника. Эскалация это не просто время от времени ругаться с надоедливыми соседями. Это попытка каждый раз насолить им побольше сильнее, чем они насолят вам. США и Советский Союз годами преувеличивали объемы вооружений у противника, чтобы наращивать свои собственные. Увеличение запасов оружия одной стороной немедленно приводило к попытке другой стороны увеличить свои запасы еще больше. Хотя каждая сторона обвиняла в гонке вооружений другую сторону, правильнее будет сказать, что в этой гонке каждый подгонял себя сам. Разработка оружия запускала процесс, который неизбежно приводил к разработке еще большего количества оружия в будущем. На это были потрачены даже не миллиарды, а триллионы долларов; две сверхдержавы серьезно подорвали собственную экономику, а оружия массового поражения было создано так много и такой разрушительно силы, что оно до сих пор угрожает всему миру.

Черный пиар во время избирательных кампаний — ещё один пример эскалации. Кандидаты поливают друг друга грязью по нарастающей, и в итоге избиратели вообще сомневаются, есть ли у любого из кандидатов хоть какие то положительные качества. Так демократию можно довести до абсурда.

Другим примером могут служить ценовые войны, демпинг: один из конкурентов снижает цепы, что вынуждает другого понизить цены еще больше, поэтому первый вынужден снова уменьшить цену (иногда даже ниже себестоимости — компания может «выйти в минус»). В итоге оба конкурента теряют деньги, но никто не может отступить. Такая разновидность эскалации может даже привести к разорению и банкротству одного из конкурентов.

Рекламные агентства тоже используют эскалацию, соревнуясь друг с другом за привлечение внимания потребителя. Одна компания придумывает что-то яркое, громкое, броское, поэтому конкурент должен сделать что-то еще ярче, болыпе и громче. Первая компания срочно придумывает что-то еще более назойливое. Реклама распространяется все шире, она вездесуща — потенциальным потребителям пригашают по почте сообщения, названивают по телефону. Рекламные ролики становятся все ярче, громче, навязчивей, пока не забивают восприятие потребителя настолько, что он игнорирует уже любую рекламную информацию.

Механизм эскалации приводит к тому, что участники вечеринки начинают разговаривать все громче и громче,

лимузины становятся все длиннее, а рок-группы все грубее и неопрятнее.

Но эскалация может работать и в другом направлении, способствуя распространению миролюбия, вежливости, увеличению эффективности, качества, проницательности и остроты понимания. Но даже если эскалация ведет систему в правильную сторону, это все равно может вызывать проблемы, потому что такой процесс очень нелегко остано-нить. Больницы пытаются превзойти друг друга по современности и мощности (и дороговизне) диагностического оборудования, в результате цены на медицинские услуги становятся заоблачными. Эскалация в области морали может привести к повсеместному лицемерию и ханжеству.

Эскалация в искусстве ведет от барокко к рококо, а потом везде воцаряется китч. Эскалация в области защиты окружающей среды может привести к тому, что вместо ответственного поведения людям будут навязывать жесткие, далеко не всегда нужные правила, своеобразное экологическое пуританство, граничащее с экстремизмом.

Эскалацией руководит усиливающий цикл обрат! связи. Он носит экспоненциальный характер, и вызывг мое им «соревнование» может очень быстро завести сл! ком далеко. Так быстро, как никто и не ожидал. Если принять меры, чтобы разорвать этот цикл, то все закончи ся печально для одной или обеих соревнующихся с торс Один из способов выбраться из ловушки эскалации — одной из сторон добровольно разоружиться, по собственной воле сделать шаг назад, и тогда через некоторое время конкурент тоже отступит. С точки зрения обычной ЛОГИКИ решение парадоксально. Но в реальной жизни оно может сработать, если отступающая сторона действует с решительностью и имеет достаточно сил, чтобы выдержать кратковременный период, пока у конкурента будет преимущество Существует еще один, более привлекательный способ остановить эскалацию: договориться о взаимном разоружении. Это приводит к изменению структуры системы, меняет ее строение. Создается новый набор балансирующих управляющих циклов, они не дают соревнованию выйти за определенные рамки. Так происходит, когда родители разнимают дерущихся детей, когда власти вводят правила о количестве и местах установки рекламных щитов, когда в зоны конфликтов вводят войска миротворцев. Достичь соглашения о разоружении при эскалации конфликтов очень нелегко, обеим сторонам приходится идти на определённые жертвы, но будет еще хуже, если гонка продолжится.

Ловушка: эскалация

Когда значение одного запаса меняется при попытке превзойти значение другого запаса (и наоборот), в систем работает усиливающий цикл обратной связи. Он вызывает гонку вооружений, погоню за материальными благами,

войну компроматов, перекрикивание друг друга, всё большее насилие. Эскалация всегда экспоненциальна и может чрезвычайно быстро привести к выходу за пределы. Если ничего не предпринимать, то всё кончится катастрофой для какой-то из сторон, ибо экспоненциальный рост не может длиться вечно.

Способ выхода

Лучший способ избежать этой ловушки — не попадать в нее. Но если вы оказались в центре такой системы, то можете отказаться от соревнования (одностороннее добровольное разоружение), разорвав таким образом усиливающий цикл. Или можно договориться с другой стороной, чтобы образовать новую систему с балансирующими циклами, которые не дадут эскалации выйти за рамки разумного.

Успех к успеху: конкурентное исключение

Самые богатые люди — малая доля от одного процента самых обеспеченных налогоплательщиков — используют массу разных способов, чтобы показать как можно меньший доход и тем добиться снижения налога… Многие выбивают себе бонусы в этом, а не следующем году (потому что тогда налоги наверняка станут выше),

обналичивают акции… в общем, любыми способами добиваются максимального дохода.

Сильвия Назар. International Herald Tribune

Когда в одних руках сосредотачиваются материальные блага, привилегии, специальные полномочия или секретная

* ***Silvia Nasar*. Clinton Tax Plan Meets Math: International Herald Tribune, December 14,1992, p. 15.**

информация, позволяющая еще больше увеличить благосостояние, получить дополнительные привилегии, права и информацию, это называют архетипом «успех к успеху». Эта системная ловушка встречается везде, где победитель в

соревновании получает не только награду, но и возможность стать еще более конкурентоспособным В ПОСЛЄДУЮщих соревнованиях. Это усиливающий цикл обратной связи, и он моментально разделяет систему на победителей, которые продолжат выигрывать, и побежденных, которые всегда будут в проигрыше.

Любой, кто играл в «Монополию» (или другие настольные игры по ее мотивам), на ее примере знает, что такое «успех к успеху». Стартовые условия у всех игроков одинаковые. Но тот, кому повезет первому поставить «дома" и «филиалы» на своих улицах, сможет получать деньги с других игроков и тратить их на то, чтобы построить ещё больше «домов» и «филиалов». Чем больше их у вас, тем больше еще добавится. Игра заканчивается, когда одному из игроков удается скупить все (или раньше, если другие игроки поняли, к чему все идет, и уже не хотят играть дальше). |'

Однажды в нашем районе объявили конкурс на лучшее новогоднее украшение дома светящимися гирляндами с призом в 100 долларов. Семья, выигравшая соревнование в первый год, потратила эти 100 долларов на дополнительные гирлянды. После того, как та же самая семья еще три года подряд выигрывала конкурс (их дом уже светился словно новогодняя елка), конкурс проводить перестали. *Ибо кто имеет, тому дано будет, а кто не имеет, у того отнимется и то, что имеет** Чем больше победитель выигрывает, тем больше будет выигрывать в будущем. Если соревнование ведется в ограниченном пространстве, где наградой победителю служит что-то, что забирают у проигравших, то рано или поздно проигравшие разорятся, или будут вытеснены, или будут прозябать в нищете.

*** Евангелие от Марка (4:25). — *Примеч.ред.***

«Успех к успеху» — хорошо известное явление в экологии, только там это называется принципом конкурентного исключения. Этот принцип гласит, что в одной и той же экологической нише не могут ужиться два разных вида, живущих за счет одинаковых ресурсов. Поскольку виды разные, один из них будет либо размножаться быстрее, либо сможет использовать ресурсы эффективнее другого. Он захватит большую часть ресурса, получит возможность размножиться еще больше и продолжит выигрывать у другого вида. В итоге он не только захватит всю нишу, но и вытеснит конкурента или вообще заставит его исчезнуть. Это не обязательно произойдет в прямом столкновении, просто конкуренту не достанется никаких ресурсов.

Еще одно описание такой системной ловушки можно найти у

Карла Маркса, в его критике капитализма. (Две фирмы, конкурирующие на одном и том же рынке, подобны двум видам в одной экологической нише, их поведение будет таким же.) Одна фирма получит небольшое преимущество, не так уж важно, за счет чего — большей эффективности, более продуманных инвестиций, лучших технологий или взяток в более крупном размере... За счет этого преимущества фирма сможет получить больший доход и множит его в новые технологии, средства производства, рекламу или новые взятки. Этот усиливающий цикл, описывающий накопление капитала, будет работать для фирмы-победителя быстрее, чем для конкурента, поэтому победителю будет доставаться все больше и больше. Если рынок ограничен и на нем не действуют антимонопольные законы, то фирма-победитель, продолжая вкладывать средства в расширение производства, в итоге получит всё, Некоторые считают, что распад СССР опровергает теории Карла Маркса, но на самом деле его утверждения о том, что конкуренция на рынке в итоге приводит к ограничению конкуренции, подтверждается везде, где есть или была такая конкуренция. Из-за того, что усиление обратной связи отдает успех тому, кто и так успешен, из массы различных компаний, производящих автомобили

в США осталось только три (могла бы быть вообще одна, этому мешает антимонопольное законодательство). В большинстве городов США выпускается только одна газета новостей. В любой стране с рыночной экономикой на протяжении десятилетий проявляется одна и та же тенденция: количество ферм уменьшается, а размер остающихся фермерских хозяйств увеличивается.

Системная ловушка «успех к успеху» наносит наибольший вред тем, что делает богатых еще богаче, а бедных ещё беднее. Богатые не только имеют больше способов уклониться от налогов, чем бедные — у них есть и другие преимущества.

■ В большинстве случаев дети из беднейших семей получают худшее образование в худших школах, если вообще удается пойти в школу. В результате у них меньше знаний и навыков, ниже квалификация, берут только на низкооплачиваемую работу, поэтому шансов выбраться из нищеты нет.

■ Люди с низкими доходами, не имеющие практически никакой собственности, не могут брать кредиты, большинство банков им откажет. Поэтому либо им нечего вложить в увеличение капитала, либо они должны обращаться к местным ростовщикам, которые берут огромные проценты. И даже когда проценты умеренные, все равно получается, что идут они богатым, а платят их бедные.

■ Во многих странах мира земля распределена по владениям крайне неравномерно. Большинство фермеров обрабатывает не свою землю, а взятую в аренду, за право вести сельскохозяйственную деятельность расплачиваются с владельцем территории частью урожая, поэтому на приобретение земель в собственно ничего не остается. А владельцы на полученные деньги приобретают себе еще больше земель.

*** См. *Jonathan Kozol.* Savage Inequalities: Children in America's S.** Ikmi **New York: Crown Publishers, 1991.**

Это лишь несколько примеров того, как обратные связи усиливают неравномерное распределение доходов, сбережений, доступа к образованию, возможностей выбиться в люди. Из-за того, что бедные могут позволить себе покупать только небольшие количества чего бы то ни было — продуктов питания, топлива, зерна, удобрений — они платят более высокую цену. Из-за того, что они практически всегда никак не организованы и не могут внятно описать свои потребности, на их долю достается лишь малая часть государственной помощи. Новые разработки и технологии приходят к ним в последнюю очередь, а загрязнения и болезни — в первую. У них нет выбора, поэтому они вынуждены идти на опасные и низкооплачиваемые работы; обосновываться в местах, подверженных стихийным бедствиям; их дети не получают хорошего медицинского обслуживания; они живут скученно; в их районах высокая преступность...

Как же выбраться из этой ловушки?

Видам в природе и компаниям на рынке иногда удается вырваться из системы с конкурентным исключением за счет более разностороннего развития. Виды могут эволюционировать или научиться использовать новые ресурсы. Компании могут разработать новый продукт или вид услуги, который не находится в прямой конкуренции с существующими продуктами и услугами. Рынки стремятся к образованию монополий, а экологические ниши —к выживанию единственного вида, но они также дают ответвления и создают разнообразие, новые рынки, новые виды. Со временем и они, конечно, столкнутся с конкурентами, и тогда система снова будет стремиться к конкурентному исключению.

Однако разнообразие в развитии — диверсификация — возможна не всегда. У фирмы-монополиста может оказаться недостаточно сил, чтобы подавить все ответвления, скупить их или лишить всех ресурсов, сделав нежизнеспособными. Для бедных диверсификация — не спасение.

Цикл «успех к успеху» можно держать в определенных рамках, если внести в систему обратные связи, которые будут

препятствовать любому из конкурентов в окончательной победе. Для этого и нужны антимонопольные законы, причем не только на бумаге. (К сожалению, один из ресурсов, которые могут в какой-то момент захватит очень большие компании — это власть, которая позволяет ослабить тех, кто следит за исполнением антимонопольных законов.)

Очевидный путь выхода из архетипа «успех к успеху" состоит в том, чтобы периодически сводить всех к одному уровню. В обществах, где сильны традиции, во многих странах предусмотрены правила, которые позволяют каким-то образом выровнять преимущества, чтобы игра оставалась честной и интересной. Играв «Монополию» всегда начинается с равных стартовых условий, поэтому тот, кто проиграл в прошлый раз, в следующий раз может выиграть, многих видах спорта предусмотрен гандикап в пользу более слабых участников, а во многих традиционных обществах существуют праздники и обряды, во время которых богатые раздают свою собственность менее обеспеченным соплеменникам.

Существует много механизмов, способных разорвать замкнутый круг, в котором богатые становятся богаче а бедные — беднее. Налоговое законодательство может предусматривать прогрессивную шкалу налогообложения, чтобы богатые платили по более высокой ставке, чем бедные (только эти законы должны быть обязательш для исполнения!). Благотворительность. Общественое благо. Профсоюзы. Всеобщие и равнодоступные здравоохранение и образование. Большие налоги на наследство (чтобы заставить каждое следующее поколение начинать игру заново). В большинстве промышленно развитых стран используются сочетания этих мер, чтобы противодействовать ловушке «успех к успеху» и давать шанс всем участникам. В традиционных обществах раздача собственности во время обрядов и церемоний позволяет вы-

ровнять распределение материальных благ, а дарители получают взамен более высокий общественный статус и репутацию.

Подобные механизмы выравнивания могут проистекать из общественной морали, а могут быть следствием сугубо фактического соображения: если проигравшие не могут продолжать игру из-за ловушки «успех к успеху», если у них нет никаких шансов выиграть, то в отчаянии они могут разрушить все игровое поле...

Ловушка: успех к успеху

Если награда победителей в соревновании состоит в том, что они смогут выигрывать еще и еще, возникает усиливающий цикл обратной связи. Если ему не препятствовать, то рано или поздно победитель получит все, а проигравшие исчезнут.

Способ выхода

Увеличить разнообразие, разносторонне развиваться — это позволяет тем, кто проигрывает соревнование, выйти из текущей игры и начать новую. Строго ограничить долю пирога, которая причитается любому победителю (антимонопольные законы). Периодически сводить всех к одному уровню, отнимая преимущества у самых сильных игроков или давая их тем, кто слабее. Предусматривать такую награду в соревновании, которая не будет влиять на результат следующего.

Поддерживающие средства: зависимости и мании[24]

Теперь вы можете себе представить какой масштаб имеет происходящий спад Все больше расходов приходится на частный сектор поэтому многие частные предприниматели перестают страховать своих работников. Теперь... каждый месяц еще около ста тысяч американца

лишаются медицинской страховки Практически все они подпадают под государственную программу бесплатной медицинской помощи Но поскольку штаты испытывают нехватку средств им придется изыскивать деньги и либо забирать их у образования либо изымать из программ поддержки детства либо увеличивать налоги а это отвлечет инвестиции из других сфеш

Билл Клинтон. International Herald tribune

Если вы хотите разозлить сомалийца отберите у него кат Кат — это свежесорванные молодые листья и побеги растения Catha edilus. ... В них содержатся вещества

относящиеся к амфетаминам.

Абдукадир Махмуд Фарах, двадцатидвухлетний юноша, сказал, что начал жевать кат в пятнадцать лет... «С ним я могу не думать об окружающем. Когда я жую его, я счастлив.

Я все могу. Я не устаю*.

*Кит Б. Ричбург. International Herald Tribune**

Большинству людей известно, что алкоголь, никотин, сахар, кофеин, героин вызывают привыкание. Но не всякий знает, что в

больших системах зависимости и мании могут проявляться в другом обличье — это зависимость от промышленных и правительственных субсидий, пристрастие фермеров к химическим удобрениям, зависимость экономики западных стран от дешевой нефти, а производителей оружия — от государственных заказов.

Эта ловушка известна под разными названиями: мания, зависимость, пагубная привычка, пристрастие к поддерживающим средствам... Структура включает в себя запас с входными и выходными потоками. Запас может быть физическим (урожай зерновых) или метафизическим (ощущение здоровья, благополучия, чувство собственного достоинства). Запас регулируется через балансирующий цикл обратной связи; могут изменяться входные и выходные потоки. У системы есть цель, она сравнивается с ощущением текущего состояния, и в зависимости от разницы между ними предпринимается то или иное действие.

Допустим, вы — подросток, живущий в стране, где не прекращается война, где царит голод. Вы мечтаете о благополучии, хотите ощутить счастье и приток сил, мечтаете избавиться от чувства страха. Между желаемым и текущим состоянием — настоящая пропасть, и у вас практически нет способов уменьшить этот разрыв. Но зато вы можете принять наркотик. Он никак не улучшит ваше реальное состояние, точнее, даже сделает его хуже, но на некоторое

**** Keith B. Richburg.* Addiction, Somali-Style, Worries Marines: International Herald Tribune, December 15,1992, p. 2.**

время изменит ваше *ощущаемое* состояние, заглушит страх, даст почувствовать себя храбрым и неутомимым. Так же происходит, когда вы управляете неэффективной компанией: если вам удается получить государственную дотацию, вы продолжаете зарабатывать деньги и имеете неплохую прибыль, остаетесь уважаемым членом общества, но компания от этого не становится эффективней. Так же происходит и с фермером, который пытается увеличить урожай зерна на полях, которые уже истощены — он применяет химические удобрения и снимает невиданные урожай, хотя ничего не делает для реального увеличения плодородия почвы.

Проблема в том, что такое ощущаемое состояние долго не продержится. Наступит интоксикация, отравление, похмелье. Государственные субсидии закончились. Химические удобрения израсходованы и смыты с полей. Примеров зависимости и систем, в которых используются поддерживающие средства, очень много.

■ Раньше о престарелых родственниках заботились члены семьи, хотя это давалось нелегко. Чтобы помочь семьям,

появились программы социальной защиты, клубы для пожилых людей, дома престарелых. Теперь у большинства семей нет ни места, ни времени, ни опыта, ни желания заботиться о стариках.

■ Доставка грузов на большие расстояния в прежние времена осуществлялась по железной дороге, а ежедневные поездки на работу — на метро и наземном городском транспорте. Но затем правительство решило ограничиться строительством исключительно автомобильных магистралей.

■ Дети на уроках арифметики занимались устным том и делали простые вычисления на бумаге. Но теперь у всех есть калькуляторы, поэтому устно считать никто не умеет. ,

■ Раньше у многих поколений людей был некоторый врожденный иммунитет к определенным заболевани-

ям — оспе, туберкулезу, малярии. Теперь всем делают прививки, все принимают лекарства, поэтому собственного иммунитета практически ни у кого нет.

■ Современная медицина привела к тому, что забота о здоровье больше ассоциируется с врачебным вмешательством и приемом лекарств, чем с ведением здорового образа жизни.

Поддерживающие средства могут быть благом. Если пользоваться ими разумно и вовремя, они могут улучшить способность системы держаться в желаемом состоянии. Разумеется, 100%-я защита от оспы за счет вакцинации лучше, чем частичная защита за счет природного иммунитета. В некоторых системах поддерживающие средства действительно необходимы.

Но они могут превратиться в системную ловушку. Допустим, управляющая обратная связь в системе не справляется с поддержанием желаемого состояния или делает это не очень эффективно. Хорошо подобранное и эффективное поддерживающее средство берет на себя часть нагрузки. Оно позволяет системе быстро прийти в желаемое состояние. Все замечательно, все рады, все довольны.

Но затем исходная проблема появляется снова, поскольку причину никто не устранил. Поэтому поддерживающее средство приходится применять снова, и уже в большем количестве. Реальное состояние системы вновь маскируется, проблема опять не устраняется. И к поддерживающему средству приходится прибегать снова и снова.

Ловушка возникает в том случае, если поддерживающее средство прямо или косвенно подрывает исходную способность системы поддерживать свое состояние. Если эта способность атрофируется, тогда для достижения желаемого эффекта нужно все больше и больше поддерживающего средства. Это ослабляет

собственную способность системы ещё больше и все опять идет по кругу.

Почему люди попадаются в эту ловушку? Во-первых, возможна такая ситуация, когда человек просто не предви-

дит последствий. Например, кто-то искренне желает помочь, берет на себя часть нагрузки и сам выступает поддерживающим средством, но это приводит к цепи событий, в результате которых возникает растущая зависимость от такой поддержки. В конце концов зависимость окажется такой сильной, что возможностей поддерживающего средства окажется недостаточно. Система здравоохранения США сейчас как раз переживает подобное состояние.

Во-вторых, человек или сообщество, получающие помощь, могут не задумываться над тем, что в долговременной перспективе будет утрачен контроль над ситуацией, что возрастет их уязвимость. К сожалению, при использовании поддерживающих средств, особенно сильнодействующих, это неизбежно.

Если такое средство — наркотик, то вы станете наркоманом. Чем больше вы будете принимать наркотики, те больше будете в них нуждаться. Вот одно из определений зависимости, используемое обществом анонимных алкоголиков: вы раз за разом, без конца повторяете одно и то же глупое поведение, но при этом почему-то все время ждете иного результата...

Зависимость дает быстрый и чреватый последствиями ответ на *симптом* проблемы и не дает принять действенные меры к тому, чтобы устранить саму *причину* и тем по-настоящему решить проблему. Настоящее решение требует усилий и времени. Ловушка зависимости очень коварна: так легко поддаться и прибегнуть к поддерживающему средству — и все, вы уже в капкане.

Насекомые угрожают посевам? К чему пересматривать фермерские методы и отказываться от монокультурных посевов, к чему изучать разрушение природных механизмов, которые раньше контролировали численность насекомых если можно просто применить пестициды? Нашествие саранчи удастся отбить, можно будет расширить посевы монокультур, разрушить природные экосистемы еще больше. Правда, и насекомых тогда станет больше, но мы опять применим пестициды, в еще большем количестве...

Растет цена на нефть? Не будем задумываться о неизбежном истощении невозобновимого ресурса, увеличивать эффективность использования топлива или переключаться на другие его виды. Мы же можем просто *заморозить цены.* (Во время нефтяного

кризиса 1970-х гг. именно эту меру первым делом применили и Соединенные Штаты, и СССР.) Мы можем притвориться, что ничего особенного не происходит, и продолжать жечь нефть, еще более обостряя проблему. А когда станет совсем плохо, начнем за нефть воевать. 11ли будем искать новые месторождения, точно так же, как плкоголик обшаривает всю квартиру в поисках последней бутылки. Загадим пляжи и разрушим остатки дикой природы, но все-таки отыщем еще одно месторождение.

Преодолеть зависимость очень трудно, это болезненный процесс. Это физическая боль при героиновой ломке или .жономическая напряженность при повышении цены на нефть ради снижения ее потребления. Это нашествие сельскохозяйственных вредителей, пока популяция их естественных врагов еще не успела восстановиться. Преодоление зависимости означает, что в конце концов вы реально оценили состояние системы (в этому времени оно уже стало гораздо хуже) и отказались от поддерживающего средства. Иногда зависимость можно преодолевать постепенно. В некоторых случаях сначала можно применить средства, не вызывающие привыкания, чтобы по возможности восстановить и успокоить истощенную систему (групповая поддержка для восстановления самооценки — ее применяют анонимные алкоголики; лучшая теплоизоляция домов и .экономичные автомобили — чтобы снизить затраты на нефть; использование смешанных посевов и севооборота — чтобы уменьшить уязвимость зерновых перед нашествиями вредителей). Но иногда нет другого пути, кроме как разом бросить принимать наркотики и терпеть боль, сжав зубы.

Чтобы система освободилась от зависимости, придется преодолеть тяжелую «ломку», поэтому всегда лучше не попадать в ловушку зависимости вообще.

Проблем можно избежать, если использовать только те средства, которые *увеличивают собственные способности системы* удерживать свое состояние в желаемых рамках Такую форму поддержки — чтобы система могла помочь себе сама — некоторые либеральные политики, похоже понять не способны. А ведь вместо того, чтобы сразу применять поддерживающие средства, надо всего лишь задать правильные вопросы:

■ Почему в системе перестали работать естественные механизмы?

■ Какие препятствия надо убрать, чтобы они заработали снова?

Как сделать естественные механизмы более эффективными?

Если вам предстоит выступать в качестве средства поддержки, действуйте так, чтобы восстановить или улучшить

собственную способность системы решать проблемы, а затем самоустранитесь.

Если же вы сами оказались зависимы от поддержки, то прежде чем избавляться от нее, создайте свои собственной системные возможности для восстановления. Возьмитесь за дело сразу же. Чем дольше вы будете тянуть, тем тяжелее будет отвыкать.

Ловушка: поддерживающие средства, зависимости и мании

Зависимость, привыкание, пагубное пристрастие возникают тогда, когда применяемое средство позволяет уменьшить или замаскировать симптом, но ничего не делает для реального решения проблемы. Неважно, вещество ли это, заглушающее чувства, или действия, скрывающие масштабы неприятностей, но использование подобных средств не дает принять меры, которые могли бы действительно решить проблему.

Если поддерживающее средство приводит к ослаблению собственной способности системы регулировать свое состояние, тогда начинает действовать разрушительная усиливающая петля обратной связи — маниакальный цикл. Система истощается, поддерживающее средство нужно во все большем и большем количестве. Система становится еще более зависимой от этого средства и все меньше и меньше способна самостоятельно поддерживать желаемое состояние.

Способ выхода

Лучший способ вырваться из этой ловушки — не попадать в нее. Остерегайтесь средств, облегчающих симптомы или заглушающих сигналы неблагополучия! Не прибегайте к мерам, которые на самом деле не решают проблему. Думайте не о краткосрочном облегчении, а об изменении структуры в долговременной перспективе.

Манипулирование правилами

КЕЛЬВИН: Хоббс, слушай сюда, есть идея.

ХОББС: Какая?

КЕЛЬВИН: Если с сегодняшнего дня и до Нового Года я буду делать по десять добрых дел в день,

Санта-Клаусу придется простить мне все,
что я натворил. Я смогу сказать, что начал новую жизнь.
ХОББС: Ну что ж, у тебя есть шанс —
вон как раз старушка идет, помоги ей.
КЕЛЬВИН: Знаешь, лучше я начну с завтрашнего дня и буду делать по двадцать добрых дел.

Комиксы «Кельвин и Хоббс».
International Herald Tribune

Везде, где есть правила, будут и попытки их обойти. Манипулирование правилами означает, что вы искажаете их смысл — следуете букве, но нарушаете дух, пренебрегаете

Серия комиксов «Calvin and Hobbes» в газете International Herald Tribune, December 18,1992, p. 22.

тем, ради чего эти правила создавались. Извращение правил приводит к проблемам в том случае, если это вносит в систему большие искажения и вызывает настолько неестественное поведение, словно правил вообще нет. Бесконтрольное манипулирование правилами может привести к тому что поведение системы станет разрушительным.

Игры с правилами могут приводить к искажениям в экономике, нарушениям в окружающей среде, конфликтам в компаниях. Они могут даже калечить души людей. Вот некоторые примеры извращения правил — какие-то боле опасные, какие-то менее.

'

■ Государственные учреждения, учебные заведения и некоторые другие организации под конец года часто тратят деньги на то, что им вовсе не нужно, только по тому, что к концу финансового года им надо избавиться от бюджетных денег — иначе на следующий год им урежут финансирование.

■ В 1970-х годах в штате Вермонт приняли закон об использовании земель (Акт 250), который сильно усложнил оформление и переоформление участка земли площадью 10 акров или меньше. Сейчас в Вермонте огромное количество земельных участков площадью чуть больше 10 акров.

■ Чтобы уменьшить импорт зерна и помочь местным фермерам, выращивающим зерновые, страны Европы в 1960-х годах наложили довольно жесткие ограничения на импорт фуражного зерна. Когда ограничения еще только разрабатывались, никто не подумал о такой сельскохозяйственной культуре как маниока, а она содержит много крахмала и вполне годится на корм скоту. Про маниоку в ограничениях ничего не было сказано. В итоге импорт зерна из Северной Америки сменился на импорт маниоки из Азии. '

*** *Wouter Tims*. Food, Agriculture, and Systems Analysis. Option International Institute of Applied Systems Analysis Laxenburg. Austria no. 2 (1984). 16.**

■ Закон об исчезающих видах, принятый в США, ограничивает деятельность в любых зонах, где обитают исчезающие виды. Некоторые владельцы земель, обнаружив, что на их территории обитают представители исчезающих видов, перестреляли или потравили их, чтобы землю можно было обрабатывать без ограничений.

Обратите внимание: манипулирование правилами создает *видимость* того, что они выполняются. Водители соблюдают ограничение скорости, но только в поле зрения полиции. Фуражное зерно в Европу больше не ввозят. Земли не обрабатываются, если на них еще остались представители исчезающих видов. Буква закона соблюдена, но его дух — нет. Это предупреждает нас о том, что правила надо создавать с учетом всей системы, включая те ее самоорганизующиеся части, которые могут уклоняться от исполнения правил.

В системе правилами обычно манипулируют нижние иерархические уровни, причем нередко в ответ на слишком жесткие, вредные, негодные, несостоятельные, плохо определенные правила, спущенные сверху. На попытку извратить правила можно отреагировать двумя способами.

Первый — подавить самопроизвольный ответ низов, ужесточив правила или контроль за их исполнением. Но обычно это приводит к еще большему искажению в системе. Этот путь ведет в ловушку.

Второй вариант позволяет эту ловушку миновать. Нужно понять, что манипулирование правилами — это полезная обратная связь, отклик, и пересмотреть, улучшить, отменить или как следует разъяснить правила. Продумать правила лучше — значит, максимально предвидеть их возможные последствия для подсистем, включая попытки их извратить. Правила должны быть сформулированы так, чтобы направлять возможности самоорганизации в системе в позитивное русло.

Ловушка: манипулирование правилами

Правила, которые должны управлять системой, иногда провоцируют попытку их извратить. При этом создается видимость соблюдения правил или достижения целей, хотя на самом деле этого не происходит, а система только сильнее отклоняется от нормы.

Способ выхода

Создать или переработать правила, чтобы направить изобретательность и творческие способности не на их извращение, а на достижение настоящей цели, ради которой эти правила и создавались.

Стремление к неверной цели

В пятницу правительство официально подтвердило то, что независимые экономисты говорили еще несколько месяцев назад: Япония в 1992 г. не сможет даже близко подойти к уровню роста в 3,5%, который год назад поставили в качестве целя

плановики из правительства... Валовой национальный продукт вырос в 1991 г* на 3,5%, в то время как в 1990 г. — на 5,5%. С начала текущего финансового года.... экономика демонстрировала либо застой, либо склонность к снижению показателей... А теперь, с резким понижением прогноза... возрастет давление политиков и деловых кругов на министра финансов — от него будут требовать мер по стимулированию экономики.

*International Herald Tribune**

В первой главе я уже говорила, что один из самых действенных способов повлиять на поведение системы — изме-

Tokyo Cuts Outlook on Growth to 1.6%: International Herald Tribune, December 19-20,1992, p. 11.

пить ее назначение или цель. Цель задает направление, и котором будет работать система. От нее зависит разниц» между желаемым и фактическим положением дел, а это определяет, какие будут приниматься меры. От цели также зависит, насколько эффективно работает балансирующий цикл обратной связи, приведет ли он к успеху или неудаче. Если цель задана неправильно, если она не позволяет измерять то, что нужно, не отражает реальное состояние, тогда система наверняка не сможет достичь желаемого результата. Система, словно золотая рыбка, может приводить не к тому, что вы на самом деле хотели, а к тому, что вы сказали. Поэтому будьте осторожны с тем, что вы им задаете в качестве цели.

Если желаемое состояние системы — безопасность страны, а цель определена как количество денег, направленных на военные расходы, то система сделает все, чтобы военные потратили все эти деньги. И неизвестно, будет при этом обеспечена

безопасность страны или нет. На самом деле безопасность может даже уменьшиться, поскольку военные расходы могут привести к оттоку средств из других секторов экономики. Огромные средства могут быть потрачены на создание ненужных и не пригодных к использованию вооружений.

Если желаемое состояние системы — высокий уровень образования, то измерение этой цели в деньгах, потраченных на каждого студента или ученика, гарантирует только то, что эти деньги действительно будут потрачены. Если качество образования измеряется результатами стандартизованных тестов, то система будет стремиться к тому, чтобы обеспечить результаты именно стандартизованных тестов. Насколько они соответствуют представлению о хорошем образовании — большой вопрос.

Когда в Индии создавались программы по планированию семьи, их цель была определена как количество установленных внутриматочных спиралей. Врачи так стремились достичь результата, что устанавливали их, даже не спрашивая пациенток.

В этих примерах перепутаны результаты и средства их достижения, это одна из самых распространенных ошибок: системе ставится неверная цель. Возможно, самая грубая ошибка такого рода — принятие ВНП в качестве показателя успешности экономики страны. ВНП, валовое национальный продукт — это совокупная стоимость всех выпущенных товаров и оказанных услуг, вся произведенная страной продукция. В качестве меры благополучия человека этот показатель критиковали чуть ли не с момента его создания:

Валовой национальный продукт не учитывает здоровье наших детей, качество их образования или радость, которую доставляют им игры. В нем никак не отражается красота поэзии или прочность браков, уровень политическим дебатов или честность должностных лиц. Он не измеряет ни ум, ни отвагу, ни мудрость, ни умение учиться, и даже наше сострадание или преданность стране никак в нем не учитываются. Проще говоря, он измеряет все, кроме того, ради чего действительно стоит жить.

Наша система бухгалтерского учета не имеет ничего общего с экономикой страны. Это не описание нашего образа жизни, а диаграмма, отражающая наше потребление — что-то вроде средней температуры по больнице.

ВНП смешивает в одну кучу и хорошее, и плохое. Если в стране больше дорожно-транспортных происшествий, а следовательно, и счетов за медицинские услуги и ремонтов то ВНП будет расти. В нем учитываются только продавае-

* м

Запись речи получена из архивов Роберта Ф. Кеннеди:

***Robert F. KeitU nedy*, University of Kansas, Lawrence, Kansas, March 18,1968. Информация получена в онлайн-библиотеке: JFK Library On-LiiV',B http://www.jfklibrary.org 'Historical +Resources/Archives/ Reference * V Desk/Speeches/RFK/ RFKSpeech68Marl8UKansas.htm, по запросу 11 июня 2008 г.**

***Wendell Berry*. Home Economics. San Francisco: North Point Press, 1987**

мые товары и услуги. (Если все родители наймут нянек для иоспитания детей и перестанут заниматься этим сами, то ВНП будет расти.) В нем никак не отражается равенство или неравенство распределения. (Дорогущий второй особняк для богатой семьи увеличивает ВНП больше, чем недорогой первый собственный дом для бедной семьи.) На его величину больше влияет усилие, чем результат, совокупное производство и потребление, а не эффективность. Новые, более экономичные лампочки дают столько же света, сколько старые, но потребляют электричества в восемь раз меньше, а служат в десять раз дольше — и это снижает ВНП!

ВНП — это мера *производительности,* она характеризует потоки произведенного и потребленного за год продукта, а не запасы капитала, количество домов, автомобилей, компьютеров и музыкальных центров, которые действительно определяют уровень нашего достатка и благополучия. Можно даже сказать, что в действительно хорошо организованном обществе величина капитала должна поддерживаться *минимально возможной производительностью* — минимальными, а не максимальными потоками.

Хотя есть масса оснований к тому, чтобы желать бурного развития экономики, тем не менее, нет никаких разумных причин желать роста ВНП. Однако правительства всех стран мира при малейшем признаке уменьшения ВНП тут же принимают самые активные действия, лишь бы заставить его снова расти. Многие из принимаемых мер расточительны, стимулируют неэффективное производство того, что на самом деле никому не нужно. Некоторые действия — например, сведение лесов ради стимуляции экономики в кратковременном масштабе — подрывают долговременные перспективы экономики, общества и окружающей среды.

Если вы ставите обществу в качестве цели высокое значение ВНП, то оно будет предпринимать все возможное, чтобы обеспечить этот валовой национальный продукт.

Не благосостояние, не справедливость, не честное распре-

деление и не эффективность — для этого вы должны определить именно их в качестве цели, регулярно измерять и

публиковать результаты по благосостоянию, справедливости, честному распределению и эффективности. Ми был бы совсем другим, если бы вместо соревнования «у кого больше ВНП на душу населения» страны стремились к максимальному достатку на душу при минимальной производительности, к минимальной детской смертности, к максимальной политической свободе, к самой чистой окружающей среде, к минимальному разрыву между богатыми и бедными... !.

Стремление к неверной цели, соответствие неверном показателю — поведение, прямо противоположное манипулированию правилами. При манипулировании система всеми силами старается обойти неверное или плохо сформулированное правило, при этом создавая видимость его исполнения. Если же система стремится к неверной цели, то она действительно выполняет все правила и достигает результата — но только не того, которого все хотят. Проблема кроется в неверной цели, если в системе происходит что-то явно глупое, если используется оправдание «потому что таковы правила». Проблема заключается в манипулировании правилами, если что-то глупое происходит потому, что правила извращают и обходят. Причем иногда бывает так, что в одной и той же системе манипулируют правилами и стремятся к неверной цели одновременно.

Ловушка: стремление к неверной цели

Поведение системы сильно зависит от того, какие цели у циклов обратной связи. Если цели — индикаторы выполнения правил — определены неточно или неполно, система может послушно стремиться к ним, достигая в итоге результата, которого никто не ожидал и не хотел.

Способ выхода

Использовать показатели и цели, отражающие реальное благополучие системы. Особенно внимательно надо следить за тем, чтобы не путать результаты и усилия по их достижению — иначе вы получите систему, которая будет исправно производить усилия, а не результаты.

История о том, для чего нужны парусники

Раньше люди устраивали регаты не ради миллионных призовых или всемирной славы, а потому, что им нравилось ходить под парусом.

В гонках под парусом участвовали те же суда, которые в обычное время использовались для рыболовства, перевозки товаров или водных путешествий по выходным.

Довольно быстро все заметили, что гонки особенно интересны, если соревнующиеся суда имеют одинаковую скорость и управляемость. Правила доработали: ввели разные классы судов в зависимости от их длины, площади парусности и других характеристик. Теперь парусникам можно было соревноваться только в своем классе.

Вскоре яхты стали создавать не для обычного плавания, а специально для гонок, в соответствии с требованиями, которые были указаны в правилах для каждого класса. Скорость выжимали из каждого квадратного сантиметра разрешенной площади парусов. Как могли, облегчали нагрузку. Яхты выглядели странно и обладали норовистым характером. На такой не отправишься на рыбалку или на воскресную прогулку под парусом. Чем серьезнее становились гонки, тем строже прописывались правила, и тем неестественнее становился облик яхт.

Современные гоночные яхты развивают очень большую скорость, чутко отзываются на движения руля, но практически не пригодны для обычного плавания. Чтобы управлять ими, нужен натренированный и физически выносливый экипаж. Теперь даже речи нет о том, чтобы в регате участвовали обычные суда — только гоночные яхты, специально построенные для этой цели. Их конструкция настолько точно соответствует текущим требованиям, что малейшее изменение в правилах делает их совершенно бесполезными.

Часть III

**Глава 6. Ключевые точки —
возможность изменить поведение системы
Глава 7. Жизнь в мире систем
6 ГЛАВА**

Ключевые точки — возможность изменить поведение системы

Компания IBM... объявила о дополнительном сокращении 25000 рабочих мест и значительном уменьшении ассигнований на исследовательские разработки...

Расходы на научно-исследовательские и конструкторские разработки снижаются на 1 млрд долларов в год... Председатель совета директоров К. Акерс... заявил, что IBM по-прежнему является мировым и промышленным лидером в исследованиях, но что «будет лучше сместить рост в иные области"

(имеется в виду обслуживание), требующие меньших вложений, хотя и менее прибыльные в долговременной перспективе.

Лоуренс Малкин. International Herald Tribune

Вот мы и подошли к вопросу о том, как надо изменять структуру систем, чтобы они производили больше того, что мы хотим, и меньше того, что для нас нежелательно. Джей Форрестер из Массачусетского технологического института, имевший многолетний опыт работы с системными

* ***Lawrence Malkin.*** **IBM Slashes Spending for Research in New (nil International Herald Tribune, December 16,1992, p. 1.**

проблемами в больших корпорациях, любил говорить, что всякий толковый менеджер может убедительно изложить суть проблемы, определить системную структуру, которая ее вызывает, и довольно точно указать область, в которой следует искать точки воздействия — участки системы, не большое изменение в которых может вызвать существенное изменение в поведении системы в целом.

Понятие ключевых точек используется не только В СИСтемном анализе. Та же самая идея заложена в историях, где рассказывается о серебряных пулях, способных убити вампира, волшебном лекарстве, секретном ходе, магическом заклинании, способе без усилий пройти сквозь или перепрыгнуть через

препятствие... Герой-одиночка, способный изменить ход истории. Небольшое движение руля, способное изменить курс огромного судна. Мы не только хотим верить, что такие ключевые точки существуют, мы хотим точно знать, где они располагаются и как ими пользоваться. Точки воздействия — ключ к власти.

Но Форрестер также отмечал, что хотя люди, тесно связанные с системой, обычно интуитивно чувствуют, где искать рычаг воздействия, часто они применяют его *не в том направлении.*

В начале изучения системного анализа и компьютерной модели World* я столкнулась с классическим примером того, как интуиция может нас подводить. Римский клуб (международная группа, состоящая из представителей деловых кругов, политиков и ученых) поставил группе Форрестера задачу: определить, с чем связаны и каким образом можно решить общемировые проблемы голода, нищеты, безработицы, городских трущоб, загрязнения

окружающей среды И истощения ресурсов. Форрестер создал компьютерную модель и однозначно определил ключевую точку: рост.* Причем не только рост численности населения, но и экономический рост. У роста есть не только преимущества — он достается дорогой ценой, которую мы обычно упускаем из виду. Голод, нищета, загрязнение окружающей среды и далее весь список проблем — как раз и есть цена роста. А мы пытаемся решить их еще большим ростом! На самом же деле нужно, чтобы рост был гораздо медленнее. Нужны разные виды роста, а в некоторых случаях его не должно быть вовсе или он должен быть отрицательным.

Мировые лидеры зациклились на экономическом росте как лекарстве от практически всех бед на свете (рост — действительно ключевая точка, в этом они правы), но только *они со всей возможной силой давят на этот рычаг не в том направлении*!

Еще один классический пример Форрестер приводит в своем исследовании динамики развития города, опубликованном в 1969 г.: выдача субсидий малодоходным домовладениям тоже является ключевой точкой.** Чем *меньше* таких субсидий, тем *лучше* городу, в том числе беднейшим его жителям. Результаты моделирования появились как раз в тот момент, когда программы субсидирования малодоходных домовладений были в самом разгаре и проводились по всей стране, поэтому Форрестера осмеяли. Но с тех мор большинство проектов по субсидированию свернули, причем практически во всех городах.

«Это противоречит интуиции», — часто повторял Форрестер, описывая сложные системы. Ключевые точки

и рычаги воздействия часто не понятны на уровне интуиции.

А если мы интуитивно чувствуем, какой этот рычаг, то все равно часто используем его не в ту сторону, систематически осложняя проблемы, которые пытаемся решить.

Я знаю несколько очень непростых и требующих времени способов для поиска точек воздействия в сложных динамических системах. Дайте мне несколько месяцев или лет, и я вам их найду. Но имеющийся горький опыт подсказывает, что они будут настолько противоречить интуиции, что никто мне все равно не поверит. От этого опускаются руки, особенно у тех, кто не просто стремится понять сложные системы, а хочет изменить мир к лучшему.

В один из таких сложных моментов (это было во время встречи, посвященной последствиям различных режимов торговли в мире) мне пришло в голову составить список участков, на которые можно воздействовать в системах. Этот список ни в коем случае не догма, я буду лишь приветствовать предложения по его доработке. Он родился благодаря многолетнему детальному анализу самых разных систем, проведенному очень одаренными людьми. Но сложные системы потому так и называются, что они сложны. Делать для них обобщения опасно. Поэтому отнеситесь к тому, что написано дальше, как к незаконченной работе. Это не рецепт поиска ключевых точек — скорее, приглашение шире взглянуть на вопросы изменения систем.

Как только системы становятся сложнее, их поведение становится неожиданным. Чтобы проиллюстрировать эту сложность, приведу пример из жизни. Задумайтесь над тем, как работает ваш банковский счет: время от времени вы кладете деньги на счет и время от времени выписываете чеки или используете пластиковую карту. На сумму на счете начисляется небольшой банковский процент (если у вас достаточно большой положительный баланс). Кроме того, периодически банк списывает со счета плату за его обслуживание, причем даже тогда, когда денег на счету нет — и тогда у вас образуется задолженность. Разумеется, банк ведет тысячи таких счетов. Это позволяет ему управ-

лять большими средствами, выдавать кредиты и распоряжаться всей совокупностью сумм (причем постоянно меняющихся) на разных счетах. Теперь представьте себе, что таких банков тысячи, они образуют федеральную резервную систему. Именно так относительно простые запасы и потоки, взятые вместе, образуют большие системы с очень сложной динамикой, которую не так-то просто просчитать.

Вот почему ключевые точки и рычаги воздействия сложно

понять на уровне интуиции. Пожалуй, на этом с теорией закончим и перейдем к списку точек воздействия, составленному по порядку возрастания важности.

12. Численные показатели: переменные, константы, а также субсидии, налоги и стандарты

Вспомните уровень воды в ванне из простого примера про запасы и потоки, приведенного в первой главе. Величина потоков и скорость их изменения описывается численно. Может быть, кран слишком тугой и на то, чтобы открутить его или закрутить, нужно время. Может быть, сливное отверстие засорилось и пропускает только небольшое количество воды, независимо от того, вытащили вы затычку или нет. Может быть, у воды есть два пути — выливаться через кран или через душевую насадку. Некоторые из этих параметров физически неизменны, зафиксированы, но остальные — переменные — можно варьировать, и они могут служить рычагами воздействия.

Представим себе государственный долг. Он может покататься довольно странным запасом — этакая черная дыра, и которую уходят деньги. Скорость, с которой «дыра» увеличивается, называется годовым дефицитом. Поступления налогов сжимают «дыру», а государственные расходы, наоборот, только расширяют ее. В США Конгресс и президент большую часть времени проводят в спорах о том, какие параметры (а их очень много!) приводят к увеличению

размера или глубины «дыры» (это расходы), а какие — к уменьшению (поступление налогов). Поскольку эти потоки непосредственно затрагивают нас, избирателей, дело приобретает политическую окраску. Но несмотря на все споры, независимо от того, кто находится у власти, денежная черная дыра за последние годы только увеличивалась, Менялась лишь скорость этого увеличения.

Чтобы бороться с загрязнением воздуха, которым мы дышим, правительство установило ряд параметров контроля и назвало их «стандартами качества окружающего воздуха». Чтобы обеспечить определенный уровень запаса лесов (или определенный поток средств к компаниям, занятым лесозаготовками), устанавливаются годовые квоты на рубку. Корпорации регулируют ставки заработной платы и цены на продукцию, чтобы обеспечить определенный уровень прибыли (аналог уровня воды в ванной) и не дать ему достичь дна.

Минимальная заработная плата. Количество земель, которые

ежегодно получают статус охраняемых. Суммы, которые тратятся на исследования СПИДа и создание бомбардировщиков «Стелс». Плата за обслуживание счета, которую взимает с вас банк. Все это параметры, которые, образно говоря, характеризуют то, как откручивается и закручивается кран. Увольнение людей и прием на работу новых сотрудников тоже характеризуется такими параметрами. И изменение численности политиков. Если разные краны откручивают разные руки, то скорость, с которой изменяются потоки, может отличаться. Но если везде одинаковые старые краны, если стоят они в одной и той же старой системе, если их откручивают и закручивают по тем же правилам, с теми же целями и на основе той же старой информации, то поведение системы сильно меняться не будет. Выборы Билла Клинтона, конечно, отличались от выборов Джорджа Буша-старшего, но не во всем, поскольку политическая система, в рамках которой избирались эти президенты, была одна и та же. (Немного забегая вперед, скажу — изменение путей, по которым в той же самой системе перемещаются деньги, привело бы к существенно му изменению процесса выборов.)

Численные характеристики и величины потоков занимают в моем списке последнее, двенадцатое место, поскольку они приводят к самым слабым изменениям в системе или не приводят к ним вообще. Это примерно то же самое, что переставлять палубные кресла на «Титанике» **в** надежде, что он от этого перестанет тонуть. Пожалуй, на 40%, нет, на 95%, а скорее даже, на 99% наше внимание приковано к численным параметрам, но среди них практически нет ключевых, которые можно было бы использовать как рычаги воздействия.

Не то, чтобы эти параметры совсем не были важны — они могут иметь существенное значение, особенно в краткосрочной перспективе и особенно для тех, кого непосредственно затрагивает соответствующий поток. Для людей очень важен размер налогов и минимальной заработной платы; вокруг этих показателей постоянно идут горячие споры. Но изменение этих параметров *практически никогда не приводит к изменению поведения экономической системы страны.* Если система пребывает в хроническом застое, то изменение параметров не может придать ей стартовый импульс. Если систему бросает из крайности в крайность, то изменение численных параметров не поможет стабилизировать ее. Если она безудержно растет, то численные изменения не остановят и даже не замедлят этот рост.

Неважно, символику какого кандидата мы надеваем **во** время избирательной кампании — это не сделает политику чище. Манипуляции федеральной резервной системы с процентными

ставками не приводят к исчезновению экономических циклов с их подъемами и спадами. (Мы практически забываем об этом, когда экономика находится ни пике, а потом нас раз за разом ошарашивает спад, хотя **его** наступление неизбежно.) Уже десятилетия прошли с тех пор, как в Лос-Анджелесе приняли самые строгие **в мир»** стандарты качества воздуха. Воздух в городе содержит

меньше загрязнении, чем раньше, но чистым он так и стал. Увеличение расходов на содержание полиции не при водит к исчезновению преступности.

Поскольку сейчас я собираюсь привести несколько примеров того, как численные параметры *могут* служить рычагами воздействия, сначала надо кое о чем предупредить. Параметры становятся ключевыми, только если они мог серьезно повлиять на какой-то из более высоких пунктов в моем списке. Процентная ставка, например, или коэффициент рождаемости непосредственно влияют на то, как ведет себя усиливающий цикл обратной связи. Системные цели — это как раз те параметры, которые могут вызывая большие изменения.

Таких критически важных величин вовсе не так много как принято считать. Большинство систем видоизменялись, эволюционировали или изначально были создам так, чтобы критические параметры их не затрагивали. Как правило, численные величины не стоят тех ожесточенных споров, что люди из-за них ведут.

Чтобы проиллюстрировать это, приведу историю, которую один знакомый прислал мне по электронной почте:

«Когда я стал домовладельцем, я потратил массу времени ни и сил на то, чтобы определить, какую надо установить арендную плату, чтобы она была справедливой.

Я пытался учесть все переменные, включая относительный уровень доходов моих жильцов, мои собственные доходы и потребность в наличных средствах, расходы на текущий и на капитальный ремонт. Сопоставлял оценки, сделанные по справедливости и сделанные с учетом погашения процентов по закладной. Даже пытался рассчитать, сколько моего личного труда будет вложено в поддержание дома...

Так я ничего и не высчитал. В итоге пришлось пойти к консультанту по финансовым вопросам. Милая девушка пояснила: "Вы делали выкладки так, словно существует какая-то четкая линия, отражающая справедливую

арендную плату. Словно бы все, что под этой линией, ущемляет вас как арендодателя, а то, что над ней, ущемляет ваших жильцов. На самом деле существует большая серая зона,

внутри которой вы и ваши жильцы можете договориться к вашей обоюдной пользе. Или, как минимум, прийти к соглашению, которое никого не ущемит. Так что перестаньте беспокоиться и займитесь более важными делами ».

11. Буфер: размер запаса, оказывающий стабилизирующее влияние, в зависимости от величины потоков

Представьте себе большую ванну (лучше даже бассейн) с медленными входными и выходными потоками. А теперь вообразите небольшую ванночку с очень быстрыми потоками. Разница примерно такая же, как между озером и рекой. О катастрофических наводнениях в результате разлива рек говорят не в пример чаще, чем о разливах озер, потому что запасы, имеющие большую величину относительно потоков, гораздо стабильнее, чем небольшие запасы. В химии и других областях знаний такой большой запас, оказывающий стабилизирующее действие, называют буфером.

Стабилизирующее влияние буфера работает на вас, когда вы держите деньги в банке на счете, а не живете только за счет тех наличных, что у вас оказались в кармане. Именно ради стабилизирующего влияния магазины держат большие склады, вместо того, чтобы заказывать новую продукцию только после того, как клиенты скупили все, что находится в торговом зале. По этой же причине для видов, находящихся под угрозой исчезновения, необходимо поддерживать более крупную популяцию, а не минимапьное количество особей, необходимое для размножения.

*** Эту историю автору прислал Дэвид Хольмстром из Сантьяго,** Чили.

Почвы на востоке США более чувствительны к кислотным дождям, чем почвы на западе, потому что в них нет больших известняковых буферов, способных нейтрализовать кислоту.

Часто систему можно стабилизировать, просто увеличив размер буфера.* Но если буфер слишком велик, система утрачивает гибкость. Она реагирует слишком медленно. К тому же большие буферы некоторых типов, например водохранилища или склады, требуют больших расходов на строительство и поддержание. В бизнесе даже придумали концепцию управления под названием «точно в срок» когда все необходимое доставляется не заранее, а по точному графику, и не хранится на складе вообще. Такие системы более уязвимы к случайным флуктуациям и нехватке чего-либо, но это обходится дешевле

(для владельцев), чем поддержание большого склада. А из-за того, что склад небольшой или его вообще нет, компания приобретает гораздо большую гибкость и способность реагировать на изменение запросов.

Иногда ключевая точка — увеличение или уменьшение размера буфера — изменяет поведение системы словно по мановению волшебной палочки. Но сами буферы обычно имеют большие физические размеры, и их нелегко изменить. Малая способность по нейтрализации кислот, характерная для почв на востоке США, не может служить рычагом воздействия, чтобы уменьшить последствия кислотных дождей. Емкость водохранилища определяется высотой и прочностью бетонной плотины — их после строительства менять уже никто не будет. Вот почему буферы в моем списке ключевых точек стоят на одном из последних мест.

В качестве примера можно обратиться к модели Денниса Медоуза, описывающей флуктуации товарных цен: *Dennis L. Meadows.* Dynamics of Commodity Production Cycles. Cambridge, MA: Wright-Alien Press, Inc., 1970.

10. Структуры запасов и потоков: I физические системы и их точки пересечения

Система «трубопроводов» — запасы, потоки и их взаимное расположение — могут иметь огромное влияние на поведение системы. Когда дорожную сеть в Венгрии проложили таким образом, что все, кто хотел попасть из одной части страны в другую, должны были проехать через Будапешт, это непосредственно повлияло на уровень загрязнения воздуха и задержку транспорта, причем исправить ситуацию с помощью только светофоров, ограничения скорости и датчиков загрязнения вряд ли возможно.

Единственный способ исправить поведение системы, спроектированной безграмотно, — изменить ее структуру. Перестроить ее — если, конечно, это возможно. Эймори Ловинс и его группа в Институте Рокки Маунтин достигли поистине удивительных результатов в энергосбережении только за счет того, что они спрямили лишние колена в трубопроводах и увеличили сечение там, где это было необходимо. Если таким же образом модифицировать все здания в Соединенных Штатах, то многие электростанции можно будет закрыть за ненадобностью.

Однако часто бывает так, что физическая перестройка — самый медленный и при этом самый дорогой способ внести

изменения в систему. Некоторые структуры запасов и потоков просто в принципе изменить нельзя. Всплеск рождаемости в США после Второй мировой войны («бэби-бум») сначала привел к повышению нагрузки на младшую школу, затем на среднюю школу, колледжи, потом сказался на уровне занятости, на доступности жилья, а сейчас влияет на пенсионное обеспечение. Поделать с этим ничего нельзя, потому что тот, кому сейчас пять лет, через год станет шестилетним и пойдет в школу, а тот, кому сейчас шестьдесят четыре, через год достигнет шестидесятипятилетнего возраста и выйдет на пенсию. Это абсолютно предсказуемо и это нельзя изменить. То же самое можно сказать про срок жизни молекул хлорфторуглеводородов (ХФУ), раз-рушающих озоновый слой; про скорость, с которой загрязнители вымываются из водоносных горизонтов; про смену парка устаревших и неэффективных автомобилей, занимающую от десяти до двадцати лет.

Физическая структура — это основа системы, она критически важна, но вряд ли может служить точкой воздействие поскольку смена структуры — дело сложное и требующее времени. Правильно продуманные системы сразу строятся заложенными в них точками воздействия. Но если систем уже построена, воздействовать на нее можно, только найдя ее «узкие места» и поняв ее ограничения. Тогда ее можно использовать с максимальной эффективностью, предотвращая нежелательные флуктуации и не допуская изменений, которые могут уменьшить устойчивость системы.

9. Запаздывания: величина задержки относительно скоростей изменения системы

Запаздывания в циклах обратной связи оказывают решающее влияние на поведение системы. Часто они приводят к возникновению колебаний. Если вы пытаетесь изменить величину запаса (увеличить товарный остаток, например) для достижения какой-то цели, но при этом получите информацию о состоянии запаса с опозданием, то вы наверняка выйдете за пределы вместимости склада и превысите поставленную цель. То же самое произойдет, если вы получите информацию вовремя, но отреагируете на нее не сразу. Например, на то, чтобы построить электростанцию, нужно несколько лет, а работать она будет лет тридцать. Такие большие запаздывания не позволяют точно угадать количество электростанций, необходимых для удовлетворения быстро изменяющихся потребностей в

электроэнергии. Даже если составить максимально точный прогноз, все равно энергетика любой страны мира будет испытывать длиннопериодные колебания между перегрузкой и недогрузкой. Если в системе есть продолжительные запаздывания, она в принципе не способна откликаться на краткосрочные изменения. Именно поэтому, кстати говоря, все системы централизованного планирования — что в Советском Союзе, что на заводах Дженерал Моторс в США — всегда и везде работают плохо.

Поскольку мы знаем, что запаздывания очень важны, мы замечаем их везде, где они есть. Это может быть интервал между моментом, когда загрязняющее вещество попало в почву, и моментом, когда оно достигло грунтовых вод. Или период времени между рождением ребенка и достижением детородного возраста им самим. Или время, необходимое для того, чтобы первая успешная проверка новой технологии привела к ее повсеместному распространению. Или запаздывание между изменением спроса и ответным изменением предложения.

Запаздывание в обратной связи *очень важно относительно скоростей изменения запаса, который контролируется этой обратной связью.* Слишком маленькие запаздывания приводят к избыточной, слишком резкой реакции — этакой погоне за собственным хвостом. Из-за такого резкого отклика колебания только усиливаются. Если запаздывание больше, то колебания будут либо равномерные, либо затухающие, либо взрывные, в зависимости от того, насколько оно велико. Слишком большое запаздывание в системе, где есть пороговое значение (предельно допустимый уровень, точка невозвращения, после которой система может разрушиться), приведет к выходу системы за пределы и катастрофе.

Я бы расценивала продолжительность запаздывания в качестве очень мощного рычага воздействия, но здесь нужно оговориться: далеко не всегда величину запаздывания можно легко изменить. Бывают события, которые убыстрить нельзя. Значительно ускорить строительство какого-либо большого объекта (завода или электростанции), взросление ребенка или скорость роста леса практически невозможно. Обычно проще *замедлить скорость изменений,* и тогда неизбежные запаздывания обратной связи не будут такой уж проблемой. Вот почему скорости роста в нашем списке стоят выше, чем величина запаздываний.

По этой же причине в модели World Джея Форрестера замедление экономического роста дает больший эффект, чем ускорение технологического развития или полная свобода цен на

рынке. Всё это попытки увеличить скорость регулирования системы. Но все мировые запасы физического капитала, все заводы и фабрики, все эти бетонные свидетельства работающих технологий могут меняться лишь с определенной скоростью и не быстрее, даже если изменить цены и выдвинуть массу новых идей. Цены и идеи тоже имеют ненулевую скорость изменения, не говоря уж о мировой культуре в целом. Можно использовать в качестве точки воздействия замедление системы и тогда технологии и цены смогут стать вспомогательными средствами. Но даже не мечтайте о том, чтобы все запаздывания разом исчезли, — это невозможно.

Если же в какой-то конкретной системе запаздываний действительно *можно* изменить, то это может произвести очень большой эффект. Будьте внимательны! Убедитесь, что вы производите изменения в правильном направлении. Например, на финансовых рынках меры по существенному ограничению информации и запаздывание при переводе средств могут привести к просто бешеному круговому движению... '

8. Балансирующие циклы обратной связи: мощность циклов относительно воздействий, которые они пытаются скомпенсировать

Теперь мы переходим от физических составляющих системы к инфjмационным и управляющим, которые можно гораздо шире использовать как рычаги воздействия.

Балансирующие циклы обратной связи — неотъемлемая часть систем. И живая природа, создавшая их в результате эволюции, и человек, сделавший это изобретение, исполь зуют их для управления важными запасами и для поддержания их в безопасных границах. Классический пример —

rонтур термостата. Его назначение — поддерживать запас системы (температуру в комнате) практически неизменным, на определенном уровне. У любого балансирующего цикла обратной связи должна быть цель (эту роль играет настройка термостата), должно быть устройство для отслеживания фактического значения и определения разницы между ним и целью (эту роль играет сам термостат), а еще нужен механизм, позволяющий выполнить действие в ответ (эту роль играет обогреватель и/или кондиционер воздуха, вентиляторы, насосы, трубопроводы, используемое топливо и т. п.).

В сложных системах обычно очень много балансирующих циклов обратной связи, готовых в любой момент вступить в игру,

поэтому система может сама себя корректировать, причем в очень широком диапазоне условий и в ответ на самые разные воздействия. Некоторые из этих циклов могут большую часть времени быть неактивными — например, система аварийного охлаждения на ядерной электростанции, или способность вашего организма интенсивно потеть от жары или дрожать от холода — но для благополучного существования системы в долговременной перспективе наличие таких возможностей жизненно важно.

Одна из грубейших ошибок, которую порой совершают люди, — лишить систему таких «аварийных» механизмов отклика. Дескать, они редко используются и обходятся недешево. В кратковременной перспективе это может обойтись без последствий. Но в долговременном масштабе мы существенно сужаем тот диапазон условий, в котором система способна выжить. Один из самых вопиющих примеров таких действий — разорение местообитаний тех видов, которые находятся под угрозой исчезновения. Другой пример — то, как мы лишаем себя времени наличные отдых, восстановление сил, общение и спокойное размышление.

Мощность балансирующего цикла обратной связи — его способность поддерживать соответствующий запас на

Вот несколько примеров усиления балансирующих циклов, позволяющих улучшить способность системы к саморегуляции:

■ профилактическая медицина, физические упражнения, хорошее питание поддерживают естественную сопротивляемость организма заболеваниям;

■ комплексный подход к ограничению численности сельскохозяйственных вредителей использует естественных, природных врагов насекомых-вредителей;

■ Закон о свободе информации ограничивает возможности правительства по утаиванию информации;

■ система мониторинга позволяет формировать отчеты об ущербе, причиненном окружающей среде;

■ программа защиты свидетелей позволяет предать гласности нарушения закона;

■ налоги на загрязнение окружающей среды, штрафы и другие платежи позволяют вернуть обществу накладные расходы, использованные в скрытом виде для получения частной прибыли.

7. Усиливающие циклы обратной связи: влияние прироста на движущие циклы

Если балансирующие циклы обратной связи сами себя

регулируют и ограничивают, то усиливающие циклы сами себя усиливают. Чем больше они работают, тем большую мощность набирают, чтобы работать еще больше, и тем самым смещают систему в какую-то сторону. Чем больше людей подхватят грипп, тем большее количество других людей они заразят. Чем больше детей родится сейчас, тем больше людей вырастет и родит своих детей. Чем больше денег у вас на счете в банке, тем больше вам начислят годовых и тем большими средствами вы будете обладать. Чем сильнее почва пострадала от эрозии, тем меньше растительности она может поддерживать, тем меньше корней и листьев будет смягчать последствия дождей, тем сильнее будет смыв почвы и тем сильнее будет эрозия. Чем больше быстрых нейтронов окажется в критической массе, тем боль ше их попадет в ядра и выбьет другие быстрые нейтроны, что в итоге приведет к ядерному взрыву или, как минимум, к разрушению активной зоны реактора и аварии на АЭС.

Усиливающие циклы обратной связи — это источники роста, вспышки, эрозии и разрушения в системах. Система, в которой есть бесконтрольный усиливающий цикл, в конце концов сама себя разрушит. Вот почему их так мало. Обычно рано или поздно усиливающий цикл будет взят под контроль балансирующим циклом. Эпидемия иссякнет, потому что все, кто мог заразиться, уже заразились, или потому, что люди приняли действенные меры к тому, чтобы не заразиться. Либо люди осознают последствия бесконтрольного роста численности населения и будут заводить меньше детей, либо возрастет уровень смертности и сравняется с уровнем рождаемости. Почва будет вымываться до скальных оснований — или люди все-таки остановят перевыпас скота и стравливание пастбищ, построят задерживающие насыпи, посадят деревья и остановят эрозию.

Во всех этих примерах есть две общие особенности: то, что произойдет, если усиливающему циклу позволить работать бесконтрольно, и то, что произойдет, если вмешаться и уменьшить его мощность, подпитывающую саму себя. Уменьшить прирост в усиливающем цикле означает замедлить рост, и чаще всего это более мощный рычаг воздействия в системе, чем попытка усилить балансирующие циклы. И уж, во всяком случае, такое ограничение гораздо предпочтительнее, чем пустить все на самотек и позволить усиливающему циклу раскручиваться дальше.

Рост экономики и численности населения в модели World — это рычаги воздействия, поскольку их замедление дает время на то, чтобы сработали самые разные балансирующие циклы: технологии, рынок, механизмы приспособления (все они имеют

свои ограничения и запаздывания). Если вы водите машину, то правильнее будет соблюдать скоростной режим и тормозить заранее, а не мчаться сломя голову, надеясь, что специально установленные более цепкие тормоза и более чуткое рулевое управление помогут избежать аварии.

В обществе существует много усиливающих циклов обратной связи, вознаграждающих победителей в соревновании тем, что у них выше шансы победить снова — это ловушка «успех к успеху». Богатые получают больше денег в виде процентов, а бедные их платят. Богатые нанимают специалистов по минимизации налогов и подкупают политиков, чтобы те уменьшили налоги законодательно. Богатые обеспечивают своим детям большое наследство и отличное образование. Программы против обнищания — слишком слабые балансирующие циклы, им не пересилить такие мощные усиливающие петли. Поэтому нужна прогрессивная шкала налогообложения, налоги на наследство, а также общедоступное, качественное, всеобщее образование. Если богатым удается влиять на правительство, чтобы ослабить, а не усилить эти меры, тогда правительство само смещается от балансирующей структуры к той, которая усиливает сама себя и вознаграждает успех последующими успехами!

Ищите точки воздействия на коэффициент рождаемости, процентную ставку, скорость эрозии, на циклы «успех к успеху» — в любом месте, где, имея больше чего-либо, вы получаете более высокие шансы получить еще больше.

6. Информационные потоки: структура, определяющая, кто имеет доступ к информации, а кто — нет

В четвертой главе приводилась история об электрических счетчиках в голландских домовладениях — в одних домах счетчик был установлен в подвале, а в других прямо в прихожей. Хотя никаких других различий между домами не было, потребление электричества там, где счетчик стоял на виду, было на 30% меньше.

Эта история мне очень нравится как пример сильного рычага воздействия в информационной структуре системы. Здесь не корректируется параметр, не усиливается или ослабляется существующая обратная связь, а создается новый цикл, обеспечивающий обратную связь там, где ее раньше не было.

Нехватка информационных потоков — одна из самых распространенных причин плохой работы систем. Добавление или восстановление информации может быть мощным способом

воздействия, причем часто организовать это проще и дешевле, чем вмешиваться в физическую инфраструктуру. Трагедия общин, разрушающая мировую рыболовную отрасль, стала возможной потому, что обратная связь от состояния рыбной популяции к тем, кто принимает решение о наращивании рыболовецкого флота, слишком слаба. Вопреки распространенному мнению, *цена* на рыбу не дает такой обратной связи. Когда рыбы становится меньше, она дорожает, и поэтому рыболовам финансово выгодно найти и поймать оставшиеся косяки. Это извращенная обратная связь, это усиливающий цикл, приводящий систему к катастрофе. Нужна информация не о ценах, а о состоянии рыбной популяции.

Очень важно, чтобы при восстановлении обратной связи информация попала в нужное место и в явном виде. Можно вспомнить еще один пример трагедии общин, из него понятно, что недостаточно оповестить всех жителей, использующих колодец, о падении уровня грунтовых вод, ведь это может спровоцировать гонку в попытке выкачать последние капли воды. Правильнее будет установить цену на воду, растущую тем больше, чем больше скорость выкачивания превышает скорость возобновления — это даст гс раздо больший эффект.

Несложно найти и другие примеры дополнительной обратной связи. Представьте себе, что все налогоплательщики смогут указывать, на что правительство может потр тить их деньги (демократия по максимуму). Представьте себе, что любой город или компания, берущая воду из

реки, должна ставить водозабор *чуть ниже по течению,* чем их же собственная выпускная труба, сливающая отходы. Представьте, что любое частное или официальное лицо, принимающее решение вложить деньги в атомную энергетику, будет обязано размещать ядерные отходы у себя в квартире или на личном участке. Представьте (этому при-меру уже очень много лет), что любой политик, призывающий к войне, должен будет сам отправиться на передовую.

У определенной части человечества есть явная склонность к тому, чтобы избегать ответственности за свои собственные решения. Вот почему в системах так часто не хватает циклов обратной связи, вот почему такие точки воздействия часто очень популярны у обычных людей и не популярны у властей, и вот почему они так эффективны, если удается либо заставить правительство ими воспользоваться, либо добиться того же в обход властей.

5. Правила: стимулы, наказания, принуждение

Правила в системе определяют ее цели, границы, степени свободы. Не убий. Каждый имеет право на свободу словам Дал слово — держи. Президент избирается на четыре года и может занимать этот пост не более двух сроков подряд. «Фол последней надежды» в футболе наказывается удалением. Если вы попались на ограблении банка, то отправитесь в тюрьму.

Когда в СССР к власти пришел Михаил Горбачев, он сделал открытыми информационные потоки (объявил политику гласности) и изменил экономические правила (провозгласил перестройку). В результате страна изменилась буквально до неузнаваемости.

Конституция — пожалуй, самый яркий пример правил, действующих в обществе. Физические законы — например, второй закон термодинамики, — носят абсолютный характер и действуют вне зависимости от того, понимаем мы их или нет, нравится нам это или не нравится. Законы, наказания, стимулы и неформальные нормы, принятые в обществе, примеры правил, приведенных в порядке убывания их силы.

Чтобы продемонстрировать своим студентам силу правил, я обычно прошу их придумать альтернативные правила для учебных заведений. Например, чтобы студенты оценивали профессоров или друг друга. Представьте, что было бы, не будь оценок: вы приходите в институт, когда захочется, и уходите, когда что-нибудь узнали. Представьте себе, что профессорам увеличивали бы срок пребывания в должности не в зависимости от количества опубликованных статей, а по числу проблем, решенных ими в реальном мире. Представьте, что будет, если оценки будут выставляться сразу всему классу, как группе, а не отдельным студентам.

Когда мы пытаемся вообразить измененные правила и то, каким будет наше поведение, мы начинаем понимать их значение. Правила — очень сильные точки воздействия. А власть над правилами — очень большая власть. Конгресс пишет законы. Чтобы продавить принятие нужных кому-то законов, в Конгрессе образуется лобби. Верховный суд, трактующий положения Конституции — фактически, свода правил по написанию правил — имеет еще большую власть, чем Конгресс. Если вам нужно докопаться до глубинных причин сбоев в системе, проанализируйте правила и выясните, кто обладает властью над ними.

Именно по этой причине моя системная интуиция забила тревогу, как только мне объяснили суть новой системы мировой торговли. В этой системе правила создаются корпорациями и применяются корпорациями на благо корпораций. В этих

правилах практически отсутствует какая-либо обратная связь от любой другой части общества. Большинство встреч закрыто даже для прессы (нет информационных потоков, нет обратной связи). Такой порядок вовлекает страны в усиливающий цикл «стремления к худшему», они соревнуются друг с другом в том, кто больше навредит окружающей среде и уменьшит социальные гарантии в попытке привлечь как можно больше инвести-ций от корпораций. Все это ведет к раскручиванию циклов «успех к успеху» до тех пор, пока они не сконцентрируют огромную власть и не создадут огромную систему централизованного планирования, которая в итоге все и разрушит

4. Самоорганизация: добавление, изменение и эволюционные преобразования системных структур

Одно из самых удивительных свойств, которым обладают живые и некоторые социальные системы, — это умение ра дикально изменять себя за счет создания абсолютно новых структур и типов поведения. В биологических системах это называется эволюцией. В экономике это может называться техническим прогрессом или социальной революцией. У специалистов по системам для этого есть термин « самоорганизация ».

Самоорганизация означает изменение любой ключевой точки из уже перечисленных в нашем списке: это может быть добавление совершенно новых физических структур (от крыльев и мозга до компьютеров), добавление новых балансирующих или усиливающих циклов, добавление новых правил... Способность к самоорганизации — одно из самых сильных проявлений гибкости и устойчивости системы. Система, способная к эволюции, может пережить практически любое изменение, потому что умеет изменяться сама. Иммунная система человека так сильна потому, что умеет выдавать новые отклики на некоторые типы внешних атак, с которыми она никогда прежде не сталкивалась. Человеческий мозг может воспринимать внешнюю информацию и на ее основе вырабатывать совершенно новые мысли.

Мощь самоорганизации настолько велика, что мы склонны считать ее чудом, чем-то необъяснимым и дарованным свыше. Экономисты иногда воспринимают технологии как некую разновидность магии — она приходит из ниоткуда, ничего не стоит, но при этом постоянно, с каждым годом увеличивает производительность экономики. Столетия назад люди с таким же трепетом относились к явлениям природы. Только божественное

начало могло принести в мир подобное творение.

Более глубокое изучение самоорганизации показывает, что божественное начало (если, конечно, оно тут поучаствовало) вовсе не должно было создавать чудеса эволюции. Ему было бы достаточно всего лишь ясно и четко прописать *правила самоорганизации.* Эти правила определяют, как, где и какая система может что-либо добавить к себе (или убавить) и при каких условиях. Как показали сотни самоорганизующихся компьютерных моделей, из набора простых правил можно получить очень сложные и красивые картины. Генетический код в молекуле ДНК основан на всего четырех разных «буквах », из которых составлены «слова» по три буквы каждое. Из этих простых правил в результате биологической эволюции развилось все современное разнообразие живых организмов. Эти правила, а также правила репликации (воспроизведения) и реконфигурации (перегруппировки) оставались неизменными примерно три миллиарда лет. За это время природа породила невообразимое количество успешных видов, способных к дальнейшей эволюции, и еще большее количество видов неудачных, вымерших.

Самоорганизация фактически поставляет эволюции строительное сырье — необычайно разнообразный запас информации, из которого выбираются возможные варианты. И одновременно она же служит средством экспериментирования, чтобы отбирать и проверять эти варианты. Для биологической эволюции в качестве сырья используется ДНК, источник самых разных мутаций; тестирующим механизмом служит изменяющаяся среда, в которой отдельные особи не выживают и не воспроизводят себя в следующих поколениях. В технологии своеобразным сырьем выступает объем научных знаний и опыта, накопленных человечеством за века и хранящихся в библиотеках и в мозгу современных ученых и технологов. Источник разнообразия — человеческая способность к творчеству, на что бы ни была она направлена, а исканном отбора воз награждение отдельных разработок, отвечающих человеческим потребностям, за счет рынка, правительственной поддержки, финансирования из различных фондов и т. п.

Если вы осознали мощь самоорганизации, то наверняка поймете, почему биологи ценят биоразнообразие даже больше, чем экономисты восхищаются технологией и прогрессом. Чрезвычайно разнообразный запас ДНК, созданный и накопленный за миллиарды лет, — это основа эволюционного потенциала, точно так же как научные библиотеки, лаборатории и университеты, готовящие ученых, служат источниками технологического потенциала. Позволять целым видам исчезать

— значит, совершать системное преступление. Точно так же можно взять и уничтожить все копии журналов и изданий, посвященных какой-либо отрасли науки (какой — выбрать наугад) или истребить всех ученых, работающих в каком-то направлении.

То же самое можно сказать и о человеческой культуре — точнее, культурах мира — в них накоплен поведенческий материал. Не за миллиарды, но за сотни и тысячи лет. Этот материал — запас, на котором может основываться социальная эволюция. К сожалению, люди ценят эволюционный потенциал культур даже меньше, чем понимают ценность каждой генетической вариации в мировой популяции сусликов. Возможно, причина кроется в том, что практически в каждой культуре заключена вера в превосходство своей культуры над другими.

Доминирование одной-единственной культуры останавливает обучение и резко уменьшает устойчивость. Любая система (биологическая, экономическая или социальная) рано или поздно исчезнет с лица нашей быстро меняющейся планеты, если позволит себе закостенеть, перестанет эволюционировать, экспериментировать, если будет пренебрегать возможностями для развития чего-то нового.

Решение в этой ситуации одно — оно очевидно, но не пользуется популярностью. Поощрение разнообразия, изменчивости, склонности к экспериментированию обычно воспринимается как потворство беспорядку и утрата контроля. Позвольте расцвести одновременно тысячам цветов — и тут *такое* начнется! Кто ж такое допустит? Давайте лучше озаботимся безопасностью и будем давить на рычаг в неправильном направлении, старательно изничтожай биологическое, культурное, социальное и рыночное разнообразие...

3. Цели: назначение и функция систем

Само стремление к уничтожению разнообразия в надежде установить контроль показывает, почему цель системы — более значимая точка воздействия, чем способность к самоорганизации. Если цель — все больше и больше загнать мир под управление одной системы централизованного планирования (империя Чингисхана, церковь, Китайская Народная Республика, сеть магазинов \Val-Mart, мир Диснея), тогда всё, что стоит в нашем списке ниже, все физические запасы и потоки, циклы обратной связи, информационные потоки, даже самоорганизующееся

поведение — всё будет работать на такую цель.

Вот почему я не могу принять аргументы, утверждающие, что генная инженерия «плоха» или «хороша». Как и с другими технологиями, все зависит от того, кто и с какой целью ее применяет. Единственное, что можно сказать точно — если корпорации используют ее для разработки рыночного продукта, то это принципиально отличается от всего, что было на планете до сих пор, как с точки зрения цели, так и с точки зрения механизма отбора и направления эволюции.

Как показали примеры на основе простых систем с одним циклом обратной связи, большинство балансирующие петель имеют свою собственную цель — поддерживать определенный уровень воды в ванной, определенную температуру в помещении, определенную наполненность склада или определенный запас воды в водохранилище.

Эти цели — важные точки воздействия в частях систем, и мпогис люди это понимают интуитивно. Если вы хотите, чтобы в комнате стало теплее, надо изменить настройку термостата. Но существуют более значимые (и при этом менее очевидные) точки воздействия на всю систему — цели всей системы.

Даже люди, сами входящие в систему, зачастую не знают, какова ее цель. Чему они служат? В большинстве корпораций на такой вопрос ответят: «Наша цель — получать прибыль». На самом деле это лишь правило, необходимое условие для того, чтобы оставаться в игре. А какова цель всей игры? Расти, увеличивать долю рынка, загонять потребителей, поставщиков, регуляторов рынка — весь мир — все больше и больше под контроль корпораций, защищая их от неизвестности и нестабильности. Джон Кеннет Гелбрэйт еще много лет назад сказал, что цель корпораций — поглотить все.* У раковой опухоли тоже такая цель. На самом деле, у любой существующей популяции такая же цель, но проблемы возникают только в том случае, если это стремление не уравновешивается балансирующим циклом обратной связи на более высоком уровне в системе. Если такой цикл есть, то он никогда не позволит одной популяции захватить мир. Цель поддержания на рынке здоровой конкуренции должна превалировать над попытками каждой отдельно взятой корпорации устранить своих конкурентов, точно так же как в экосистемах цель поддержания разных популяций в равновесии должна доминировать над целью каждой отдельно взятой популяции размножаться без ограничений.

В одной из предыдущих глав я уже говорила, что даже если поменять в системе всех игроков, то ничего не изменится, если сама система останется той же. Из этого есть только одно

исключение: если замена одного из игроков (кого-то, находящегося на вершине) приведет к тому, что

***John Kenneth Galbraith.* The New Industrial State. Boston: Houghton Mifflin, 1967.**

изменится цель системы. Иногда (хотя очень не часто) бы вает, что новый лидер организации — от Дартмутского колледжа до нацистской Германии — приходит, объявляет новую цель, и сотни, тысячи, а то и миллионы разумных, рассудительных людей идут в совершенно другом направлении.

Такого эффекта добился Рональд Рейган, и все мы видели, что это работает. Незадолго до того, как Рейган пришел в Белый дом, президент США мог заявить: «Не спрашивайте, что правительство может сделать для вас. Спросите, что вы можете сделать для правительства». И никто возразить не смел. Рейган же неоднократно говорил, что цель не в том, чтобы заставить людей помогать правительству или заставить правительство помогать людям, а в том, чтобы оно слезло с наших плеч. Кто-то может возразить, что это стало возможным только потому, что в больших системах назрели изменения и возросло влияние корпораций на руководство страны. Но со времен Рейгана интонации и содержание речей в США и по всему миру очень сильно изменились. Это доказательство того, что постановка новой цели, ее формулирование, повторение, разъяснение, защита, отстаивание — очень сильные точки воздействия.

2. Система взглядов и понятий: мировоззрение, в рамках которого построена система — ее цели, структура, правила, запаздывания и другие параметры

У Джея Форрестера была еще одна поговорка про системы: «Не имеет значения, как написаны налоговые законы страны. Важно лишь то, какие налоги общество считает справедливыми». Что бы ни говорил закон, но за счет честной и нечестной игры, сложностей, послаблений, вычетов, жульничества и постоянного перекраивания правил фактическая собираемость налогов всегда будет зависеть от сложившихся в обществе представлений о «справедливости».

Разделяемые всем обществом идеи и понятия, нигде не записанные положения и нормы образуют парадигму, систему взглядов, характерную для этого общества, — набор представлений и убеждений о том, как работает этот мир. Эти представления нигде не записаны потому, что в этом просто нет нужды — все и так их знают. Деньгами можно измерять реальные вещи, у денег есть цена, следовательно, те, кому платят меньше, в буквальном смысле слова стоят дешевле. Рост — это благо. Не надо ждать милостей от природы, взять их у нее — наша задача.

С появлением *Homo sapiens* эволюция остановилась. Отдельные люди могут «владеть» землей... Вот всего несколько из таких общепринятых утверждений современной западной культуры. Все они противоречат представлениям многих других культур — в них подобные утверждения вовсе не считаются очевидными.

Устоявшиеся взгляды и понятия — это источники в системах. Именно на них, на принятых всеми общественных представлениях о природе реальности основаны цели систем, информационные и физические потоки, обратные связи, запасы и все прочее, что связано с системами. Лучше всего об этом сказал Ральф Уолдо Эмерсон:

«Каждая нация и каждый человек немедленно окружает себя материальными предметами, которые в точности соответствуют... их уровню мышления. Посмотрите, как любое истинное или ложное утверждение, любая мысль любого человека приобретает форму обществ, языка, городов, домов, церемоний, газет. Посмотрите, каковы понятия сегодняшнего дня... доски, кирпич, известь и камень обретают общепонятную форму, подчиняясь главной идее, царящей в умах многих. ... Из этого следует, разумеется, что малейшее расширение понятий... может привести к поразительным изменениям во внешних проявлениях» *.

*** *Ralph Waldo Emerson.* War. Лекция Ральфа Уолдо Эмерсона о войне, прочитана в Бостоне в марте 1838. Перепечатка по изданию: Emerson's Complete Works, vol. XI. Boston: Houghton, Mifflin & Co., 1887. 177.**

Древние египтяне построили пирамиды, потому что верили в загробную жизнь. Мы строим небоскребы, потому что верим, что площади в деловом центре города имеют огромную ценность. И Коперник с Кеплером, показавшие, что Земля вовсе не центр вселенной, и Эйнштейн с его гипотезами о взаимном превращении материи и энергии, и Адам Смит, заявивший, что эгоистические побуждения отдельных игроков на рынке волшебным образом приводят к общественному благу, — все они вызвали пересмотр сложившихся взглядов и понятий, использовали это как мощный рычаг, позволивший в итоге преобразовать систему.

Вы можете сказать, что сложившиеся взгляды изменить труднее, чем что-либо другое в системе, и что поэтому следовало бы отнести этот пункт в самый низ нашего списка, а не ставить на второе место. Но в изменении мировое -зрения нет ничего, что заставляло бы этот процесс всегда идти медленно — ни с физической точки зрения, ни исходя из соображений стоимости и затрат. У отдельно взятого человека изменение мнения может произойти за долю секунды. Иногда достаточно одного

мгновения, чтобы пелена спала с глаз, и человек обрел новое видение. С обществами в целом, конечно, сложнее — они противостоят изменениям в устоявшихся представлениях гораздо сильнее, чем любым другим.

Как же можно изменить парадигму, сложившуюся систему взглядов? Томас Кун, автор замечательной книги о самых значимых изменениях в научном мировоззрения, может многое рассказать на эту тему.* Надо сосредотачиваться на тех отклонениях и сбоях, которые старые теории не объясняют. Надо продолжать рассказывать и действо вать, открыто и уверенно, с позиций новой теории. Придвигать людей, исповедующих новую парадигму, на позиции, обеспечивающие публичность и власть. Не тратить время на тех, кто ставит палки в колеса, а работать с теми,

* ***Thomas Kuhn.*** **The Structure of Scientific Revolutions. Chlcii|(u: University of Chicago Press, 1962.**

кто способен к изменениям, и с теми, кто обладает открытым мышлением, — таких людей очень мною.

Специалисты по моделированию систем говорят, что мы меняем собственную парадигму, личную систему взглядов, выстраивая модель системы, и это позволяет нам выйти за ее пределы и посмотреть на нее со стороны. Я могу подтвердить это: мое собственное мировоззрение изменилось именно так.

1. Расширять границы мировоззрения

Существует рычаг воздействия, который даже мощнее, чем изменение взглядов и убеждений. Он состоит в том, чтобы человек не был рабом теорий и представлений, а оставался свободным и гибким. Чтобы осознавал, что *никакая* теория не может претендовать на абсолютную истинность, и что всё, что мы знаем о мире, на самом деле лишь малая и крайне ограниченная часть огромной и удивительной Все ленной, лежащей далеко за пределами человеческого понимания. Чтобы мог нутром почувствовать, что у всех представлений есть рамки, и что само это представление тоже имеет определенные рамки, и что само осмысление этого — невероятно увлекательное занятие. Я знаю, что ничего не знаю. У буддистов состояние этого «незнания» называется просветлением.

Тем, кто цепляется за устоявшиеся взгляды (а это многие из нас), полезно представить себе такую возможность: что всё, что им кажется знакомым и хорошо известным, на самом деле не имеет смысла и вообще действует с точностью до наоборот. Нет

ни власти, ни контроля, ни понимания. У жизни нет цели. Тем более нет смысла в том, чтобы что-то делать. В *любом* мировоззрении нет 100%-й однозначности. Но при этом любой, кто удосужился задуматься на эту тему — неважно, на каком этапе, и неважно, один раз или много — отмечает, что само это размышление позволило сделать качественный скачок. Если все представления неверны, то вы можете выбирать из них любое, кото-рое позволит достичь цели. Если вы не знаете, где найти цель, — прислушайтесь к Вселенной.

Только так, преодолев границы парадигмы, люди избавляются от зависимостей, живут с радостью, низвергают империи, погибают на кресте, сгорают на кострах инквизиции, томятся в заключении или гибнут от выстрела убийцы, но зато их влияние распространяется на тысячи лет.

Можно еще очень многое рассказать о том, как воздействовать на систему и к какому пункту в нашем списке это отнести. Этот список не абсолютен, не считайте его окончательным. К каждому пункту можно придумать исключения, чтобы переместить его выше или ниже по списку в за висимости от силы воздействия. Он формировался в моем подсознании многие годы, но это вовсе не сделало меня сверхчеловеком. Чем сильнее рычаг воздействия, тем больше система будет сопротивляться изменениям, — вот почему общество часто избавляется от тех, кто движет его вперед.

Ключевые точки далеко не всегда доступны, даже если нам известно, где они и в каком направлении на них воздействовать. Достичь мастерства трудно. Нужно много работать (касается ли это детального анализа систем или внимательного отбора взглядов и представлений), чтобы понять, что на самом деле мы ничего не знаем. К тому же похоже, что настоящее мастерство заключается не в том, чтобы давить на рычаги воздействия, а в том, чтобы иметь проницательность, волю и некоторую толику безумства для того, чтобы позволить системе жить своей жизнью действовать с ней в такт.

7 ГЛАВА

Жизнь в мире систем

Беда нашего мира вовсе не в том, что он неразумен, хотя и не в том, что он обладает разумом.

Самая большая проблема в том, что он почти разумен, почти — но не совсем. Жизнь не лишена логики, и в этом кроется ловушка для логиков.

Жизнь выглядит лишь немногим более математической и упорядоченной, чем она есть на самом деле.

Г. К. Честертон*, английский писатель

Люди, выросшие в промышленно развитом мире, узнав о системном мышлении, иногда впадают в крайность в своем энтузиазме и совершают большую ошибку, полагая, что в системном анализе, во взаимном увязывании массы параметров, в учете сложных влияний и в применении мощных компьютеров кроется ключ к предсказанию будущего и управлению им. Эта ошибка вызвана тем, что парадигм промышленного мира предполагает, что у предсказания и контроля есть ключ...

Поначалу я тоже так считала. Мы все так считали — студенты-системщики в Массачусетском технологическом

G.K. Chesterton. **Orthodoxy. New York: Dodd, Mead and Co., 1927**

институте. Наша вера была вполне невинна, нас просто захватили перспективы нового метода — наверное, так происходит со многими, кто открыл для себя что-то новое. Мы преувеличивали свои достижения. Не потому, что хотели таким образом обратить других в свою веру, а просто от избытка собственных ожиданий и надежд. Системное мышление для нас было не просто сложной и утонченной игрой ума — мы по-настоящему хотели *заставить системы работать.*

Как путешественники в эпоху географических открытий искали путь в Индию, а вместо этого попали в западное полушарие, так и мы обнаружили кое-что новое, но совсем не то, что искали. Это настолько отличалось от наших ожиданий, что мы даже не знали, к чему можно приспособить наши находки. Но по мере продвижения в системном мышлении мы начинали понимать, что это даже более мощный инструмент, чем мы думали, хотя и не в том смысле, какой мы поначалу в него вкладывали.

Первый «холодный душ» мы приняли тогда, когда поняли, что одно дело — понять, как исправить систему, и совсем другое — взять и исправить ее. У нас было огромное количество споров насчет «практической реализации», но все упиралось в то, как заставить менеджеров, руководителей и представителей власти следовать нашим советам.

Самое интересное заключалось в том, что *мы сами* не следовали своим советам. Мы усвоили лекции о структурах, ответственных за зависимости и мании, но при этом не смогли отказаться от кофе. Мы знали динамику систем, стремящихся к неверной цели, но при этом не могли сами себя заставить бегать по утрам. Мы предостерегали других от ловушек, которые

представляют собой эскалация конфликта и пристрастие к поддерживающим средствам, но при этом попадали в их сети в собственных семейных отношениях...

Социальные системы — это внешнее выражение принятого образа мышления и основных человеческих потребностей, эмоций, достоинств и слабостей. Их невозможно

изменить по мановению волшебной палочки. И даже то, кто представляет себе, что надо предпринять, совсем не обязательно станут делать то, что нужно.

Перед нами встала другая проблема. Наше системное видение позволило разобраться во многом, чего мы раньше не понимали, но это не значит, что мы стали понимать *всё.* На самом деле на каждый полученный ответ возникло по новому вопросу. Так было и со всеми другими теориями, которые создавало человечество на протяжении своей истории, относилось ли это к макро- или микромиру. Системная теория позволила обнаружить удивительные вещи, многие из которых представлялись загадочными и непостижимыми. Системное мышление показало, что многие загадки кроются в человеческом образе мыслей, в душевных устремлениях и эмоциях. На следующем развороте страниц вы увидите лишь некоторые из вопросов, с которыми мы столкнулись, изучая работу систем.

Понимание систем может вызвать дополнительные вопросы. Разумеется, их задают не только системные мыслители. Когда мы начали разбираться в этой теме, то обнаружили целые отрасли науки, задающие подобные вопросы, полные библиотеки историй с описанием таких же исканий, и даже нашли в них некоторые ответы. Уникальность нашего исследования заключалась не в наших ответах и даже не в наших вопросах, а в том, что системное мышление, родившееся на стыке инженерных наук и математики, разработанное в попытке контролировать и предсказывать будущее, использующее компьютеры и основанное на механистическом образе мыслей, заставило нас столкнуться с глубинами человеческой души. Даже самым закоренелым технократам системное мышление ясно дает понять, что в нашем мире сложных систем одной технократией не обойтись.

Самоорганизующиеся, нелинейные системы с обратными связями не предсказуемы в принципе. Их невозможно контролировать. Их можно понять только в самых общих чертах. Точно предсказать будущее и полностью подготовиться к нему невозможно. Если вы хотите заставить слож-

ную систему делать в точности то, что вам нужно, то максимум, чего удастся добиться — чтобы она делала это непродолжительное время, и то в лучшем случае. Мы никогда не

добьемся абсолютного понимания мира, и тем более в том смысле, который предполагает наша наука, использующая

Новая информационная обратная связь в *этой* точке системы заставит ее вести себя гораздо лучше. Но те, кто принимает решение, отвергают информацию, которая им нужна! Они не хотят уделять ей внимание, они не верят, они не знают, как ее правильно истолковать.

Если бы *этот* цикл обратной связи удалось замкнуть вокруг *этого* значения, то система пришла бы к результату, которого жаждут все. (Больше не энергии, а услуг на ее основе. Не ВНП, а материальный достаток и безопасность. Не рост, а развитие.) Нам даже не надо менять какие-либо параметры, надо лишь дать системе возможность работать с реальными значениями.

Вот система, которую со всех точек зрения можно счесть извращенной: она поощряет неэффективность, уродство, разрушение окружающей среды, нищету. Но если от нее избавиться, тогда не будет вообще никакой системы. Можно ли себе представить что-то страшнее этого? (Когда я писала это, то имела в виду СССР с его коммунистическим строем, но это далеко не единственный пример.)

Люди в этой системе упорствуют в своем разрушительном поведении, потому что боятся перемен. Они не верят, что система может быть лучше. Они думают, что у них нет ни сил, ни воли, чтобы потребовать изменений или самим вызвать их.

редукционистский подход. Наука и сама демонстрирует неустранимую неопределенность, начиная с квантовой теории и заканчивая простыми математическими зависимостями, приводящими к хаосу. Мы можем оптимизировать системы только в самых простых случаях, а в остальном мы даже не знаем, что именно оптимизировать. Невозможно контролировать все. Нельзя установить с природой уравновешенные, самоподдерживающиеся отношения, если относиться к ней с позиции завоевателя, уверенного в своем абсолютном знании. То же касается и других систем, в том числе тех, которые мы создаем сами.

Почему люди так активно сортируют информацию и упорно не хотят воспринимать некоторую ее часть? Как они определяют, что принять к сведению, а чем пренебречь, что учесть, а от чего отмахнуться? Почему из одной и той же информации разные люди улавливают разное содержание и приходят к разным выводам?

Что это за значения? Откуда они взялись? Универсальны ли они или определяются культурой? Что заставляет отдельных людей или общество отказываться от реальных значений и использовать вместо них фальшивые показатели? Как можно

привязывать петли обратной связи к значениям, которые измерить нельзя, если есть те, которые измерить можно?

Почему минимальная структура ограничений и максимальная свобода творчества так всех страшит? Как так могло случиться, что одно-единственное представление о мире распространилось так широко, что все системы производства, города и здания, технологии и общественные институты оказались будто слепленными по одному образцу? Как системы создают разные культуры? Как культуры создают разные системы? Если культуре и системе чего-то не хватает, значит ли это, что измениться они могут только через разрушение и хаос?

Почему люди всегда готовы поверить в свое бессилие? Почему они так цинично относятся к собственной способности добиться желаемого? Почему они больше верят тем, кто говорит, что они не в силах ничего изменить, чем тем, кто уверяет, что они могут добиться изменений к лучшему?

Тем, кто привык считать себя властителями мира, трудно принять неопределенность, свойственную системному мышлению. Если вы не в состоянии понять, предсказать и взять под контроль, то что же еще остается делать?

Системное мышление ведет к другому заключению — очевидному, простому, которое так и напрашивается, только надо отказаться от иллюзии контроля. Делать можно многое, и у этого «делания» есть разновидности. Будущее нельзя предсказать, зато его можно вообразить и с любовью воплотить в жизнь. Системы нельзя контролировать, зато их можно создавать и переделывать. Мы не можем ринуться вперед и обеспечить себе полностью предсказуемый мир без сюрпризов, но мы можем ожидать эти сюрпризы, учиться на них и даже извлекать выгоду. Мы не можем навязать системе свою волю. Зато можно прислушаться к тому, что система сама сообщает нам, и найти способ, благодаря которому ее свойства и наши качества вместе смогут привнести в мир нечто лучшее, чем может создать одна наша воля.

Мы не можем контролировать системы и полностью постигать их суть. Но мы можем двигаться с ними в такт…

В определенном смысле я и так это знала. Я научилась действовать согласованно с мощными силами, когда сплавлялась на каяке через пороги, когда растила сад, каталась на лыжах или играла музыку. Все эти занятия требуют проявлять внимание, погружаться в дело с головой, быть начеку и отвечать на обратную связь. Раньше мне никогда не приходило в голову, что те же самые качества могут понадобиться для научных исследований, для управления компаниями, для руководства страной и для работы с людьми.

Но именно к таким выводам мы приходили раз за разом, работая с любой компьютерной моделью. Чтобы успешно существовать в мире систем, нужно нечто большее, чем просто умение считать. От нас требуются все человеческие качества — рациональное мышление, способность отличать истину от лжи, интуиция, сострадание, мораль, умение мечтать.*

Я бы хотела закончить эту главу и эту книгу подведением итогов — самыми общими системными выводами и рекомендациями, которые удалось накопить за годы моделирования сложных систем и общения с теми, кто этим моделированием занимался. Из них можно извлечь столько уроков, усвоить столько теорий и способов применения, продвинуться в понимании систем так глубоко, что вы начнете применять эти знания не только в своей профессии, но и в повседневной жизни — хотя и не со 100% -м результатом. Это станет поведенческим следствием нового мировоззрения, основанного на понятиях обратной связи, нелинейности, систем, ответственных за свое собственное поведение. Это и есть отличия, замеченные тем самым дартмутским профессором инженерного направления, который сказал, что специалисты по системам «не такие, как все», и все допытывался, почему.

Список рекомендаций, приведенный дальше, наверняка не полон, ведь я продолжаю учиться пониманию систем. И этот список применим вовсе не только к системному мышлению — учиться действовать в такт можно самыми разными способами. Это всего лишь первый урок; в нем собрано то, что осознанно или неосознанно использовали мои коллеги, сталкиваясь с новыми системами.

Почувствуйте ритм системы

Прежде чем вмешиваться в систему, понаблюдайте за ее поведением. Если это музыкальное произведение, речной порог или колебание цен на товары, то ритм их изменений можно уловить и изучить. Если это социальная система — присмотритесь к ее работе. Изучите ее историю. Попросите тех, кто имеет отношение к ней на протяжении долгого времени, рассказать, что с ней происходило. Если есть такая возможность, найдите или составьте график текущего поведения системы — людской памяти не всегда можно доверять в том, что касается изменений во времени.

Рекомендации кажутся простыми, но это впечатление обманчиво. Пока вы не попробуете сами их выполнить, вы не

поверите, от какой массы ошибок они способны вас уберечь. Надо начинать с изучения поведения системы, потому что это фокусирует ваше внимание на фактах, а не теориях. Иначе вы можете пасть жертвой собственных или чужих заблуждений и неправильных представлений.

Просто поразительно, как много может быть превратных представлений! Люди могут поклясться, что осадков стало выпадать меньше, но если вы взглянете на данные, то обнаружите, что на самом деле увеличивается изменчивость осадков, разброс между крайностями: засухи тянутся дольше, но при этом и наводнения становятся сильнее. Влиятельные лица убеждали меня в том, что цены на молоко растут, в то время как они снижались; что реальная процентная ставка уменьшалась, в то время как она увеличивалась; что дефицит бюджета составил большую долю ВНП, чем когда-либо ранее, хотя на самом деле это было совсем не так.

Особенно интересно наблюдать, как изменяются различные элементы в системе — согласованно или нет. Непосредственное наблюдение позволяет сразу отказаться от многих поверхностных предположений. Собственное наблюдение за событиями дает гораздо более достоверную информацию, чем выслушивание мнений других о том, что, как им кажется, происходит. Любой член городского управления н штате Нью-Гемпшир свято уверен в том, что рост экономической активности в городе приведет к снижению налогов, но если вы построите график зависимости налогов от роста, то увидите хаотичный разброс точек, подобно звездам на небосклоне. Никакой зависимости между ними нет.

Изучение поведения системы заставляет прибегнуть к динамическому, а не статическому анализу. Нужно задавать не только вопрос «Что неправильно?», но и «Как мы пришли к этому?», «Какие еще варианты поведения возможны?», «Если ничего не менять, ТО чем ЭТО может закончиться?» . Изучая достоинства системы, можно ответить на вопрос «Что здесь работает хорошо?». Хронология изменения нескольких переменных — построение общего графика — позволит не только уточнить, какие в системе есть элементы, но и как они могут быть связаны между собой.

Наконец, изучение истории системы позволяет избавиться от скверной привычки определять проблему не по текущему поведению системы, а по нехватке нашего излюбленного средства решения. (Проблема в том, что нам надо найти больше нефти. Проблема в том, что надо запретить аборты. Проблема в том, что нам не хватает менеджеров по продажам. Проблема в том, чтобы заставить этот город расти еще больше.) Прислушайтесь к

любому спору или обсуждению в семье, на работе или среди приглашенных экспертов на телевидении, и вы заметите, какие решения они предлагают. Обычно решение состоит в том, чтобы «предсказать, взять под контроль, заставить». И никто не уделяет внимания тому, *что* система делает, и не интересуется, *почему*...

Вынесите свои мысленные модели на свет Божий

Когда мы рисуем структурные схемы и записываем уравнения, мы волей-неволей должны четко формулировать. предположения и записывать их в строгой форме. Каждое сделанное предположение о системе должно быть доступно всем, в том числе и нам самим. Модели должны быть завершенными, не иметь внутренних несоответствий и противоречий. Предположения не могут быть слишком широкими или неточно сформулированными (в отличие от мысленных моделей, которые обычно довольно расплывчаты). Если мы что-то предположили, то этому нужно посвятить отдельное обсуждение; если возникает какое-то противоположное мнение, то оно рассматривается в другом обсуждении.

Вы не обязаны фиксировать свои мысленные модели на бумаге в виде структурных схем и уравнений, хотя это было бы полезно. Вполне достаточно изложить их суть в словесной форме, в виде картинок или стрелок, показывающих, что, по вашему мнению, с чем связано. Чем больше вы практикуетесь в этом, независимо от выбранной формы, тем четче и гибче будет ваше мышление, тем быстрее вы сможете исправлять ошибки и тем проще вам будет примириться с неопределенностью. Гибкость мышления — это готовность и умение раздвигать границы, способность замечать, что система изменила поведение, умение изменять структуру системы. В мире гибких систем без гибкого мышления не обойтись.

Всегда помните, что всё, что вы знаете (и всё, что знают остальные) — это лишь модели. Сделайте так, чтобы ваша модель была доступна другим. Предложите остальным проверить ваши предположения и добавить собственные. Вместо того, чтобы сходу ставить единственный «диагноз» и потом упорствовать в нем, соберите как можно больше разных мнений. Беспристрастно рассмотрите все варианты; если есть основания к тому, чтобы отказаться от каких-то предположений, — вычеркните их. Даже если вы годами искренне верили в какое-то предположение, то в результате такого анализа сможете объективно оценить его, и если оно ложное — отказаться от него.

Анализ моделей, что называется, при свете дня, максимально строгое формулирование предположений, их беспристрастная проверка и готовность отказаться от них, если они не имеют под собой оснований — все это давно известно под названием научного подхода. Вот только сейчас: даже в естественных науках не так уж часто применяют действительно научные методы, а уж про социологию, управление, политику и повседневную жизнь даже говорить не приходится.

Уважайте, цените и распространяйте информацию

Вы уже видели, как потоки информации могут объединять систему, и как запаздывающая, искаженная, разрозненная и неполная информация может приводить к неправильной работе циклов обратной связи. Те, кто должен принимать решение, не могут действовать без информации, не могут давать точный отклик на неточную информацию, не могут отвечать вовремя, если информация поступила с опозданием. Подозреваю, что большая часть проблем в системах связана именно с искажением, запаздыванием или отсутствием части информации.

Будь моя воля, я бы добавила к десяти заповедям одиннадцатую: *Не искази, не утаи и не задержи информацию.* Систему можно в буквальном смысле свести с ума, если перепутать ее информационные потоки. Вы даже не представляете себе, насколько лучше может работать система, если давать ей более полную, точную и своевременную информацию.

Приведу пример. В 1986 г. в федеральном законодательстве США появился документ под названием «Реестр токсичных выбросов», согласно которому все компании каждый год были обязаны подавать данные по всем загрязнителям воздуха на своих производствах. По Закону о свободе информации (с системной точки зрения это один из самых важных законов в истории страны) эти данные должны быть открытыми и общедоступными. В 1988 г. появились первые общедоступные отчеты по выбросам загрязняющих веществ. Эти выбросы не были противозаконными, но мест-

ные газеты запестрели заголовками — «10 главных виновников загрязнения» и другие в том же духе — и эта информация была воспринята обществом с большой тревогой. Никакие другие законы не принимались. Никто не подавал исков, не накладывал штрафов, не требовал сократить выбросы или установить очистные сооружения. Но за два года выбросы

загрязняющих веществ по всей стране (по крайней мере, в соответствии с отчетами, а они похожи на правду) сократились на 40%. В некоторых компаниях создали программы по снижению выбросов на 90%. Все это стало возможным только потому, что была опубликована информация, которую раньше утаивали.*

Информация — это власть. Любой, кто жаждет власти, моментально усваивает эту истину. Средства массовой информации, специалисты по связям с общественностью, политики, рекламщики — все, кто так или иначе связан с с потоками информации, — обладают гораздо большей властью, чем многие могут себе представить. Они отбирают и перенаправляют информацию. И часто делают это с корыстными целями и в расчете на быстрый эффект. Что ж удивляться, что социальные системы часто ведут себя как безумные...

Используйте правильный язык и обогащайте его системными понятиями

Все наши информационные потоки в первую очередь основываются на языке. Наши мысленные модели большей частью носят словесный характер. Уважать информацию — значит, помимо прочего, беречь язык от загрязнения, использовать его в максимально четкой и понятной форме. Кроме того, это означает, что язык надо расширять, чтобы мы могли говорить на нем о сложности систем.

*** *Philip Abelson.* Major Changes in the Chemical Industry // Science. 255. no. 5051 (20 March 1992). 1489.**

Фред Кофман писал в журнале, посвященном системам:

«Язык... может служить средством, благодаря которому мы создаем новые понятия, а как только мы начинаем обсуждать их, то создаем и новую действительность. На самом деле мы не говорим о том, что видим, *а видим только то, о чем можем говорить.* Наше представление о мире зависит от взаимодействия нашей нервной системы и языка — и то, и другое работает как фильтры, сквозь которые мы воспринимаем мир... Язык и информационные системы организаций — это не средства для описания внешней реальности, а основа всего восприятия и зсех действий, которые можно предпринять. Чтобы преобразовать измерительные и коммуникативные системы ... общества, необходимо изменить все возможные варианты взаимодействия на самом глубинном уровне. Язык... как способ выражения реальности лежит глубже, чем стратегия, структура и даже... культура».

Общество, которое постоянно говорит о *производительности,* но едва понимает (и еще меньше использует) понятия *гибкости* и *устойчивости,* станет производительным, но не гибким и не устойчивым. Общество, не понимающее и не использующее понятие *самоподдерживающей емкости,* превысит границы самоподдержания. Общество, без конца обсуждающее *создание рабочих мест,* словно это единственное, что способны делать компании, не сможет вдохновить основную массу людей на то, чтобы создавать эти места ни для самих себя, ни для кого-то другого. И не поощрит работников за их вклад в *создание прибыли.* Наконец, общество, называющее словом «Миротворец» программу производства баллистических ракет, спокойно рассуждающее о *побочных разрушениях, окончательном решении* и *этнических чистках,* говорит на языке, который Венделл Берри назвал «тиранийским».

Fred Kofman. **Double-Loop Accounting: A Language for the Len.-ninK Organization // The Systems Thinker. 3. no. 1 (February 1992).**

«У меня складывается впечатление, что последние сто пятьдесят лет в языке по нарастающей происходит искажение и разрушение смыслов. Мне кажется, этой возрастающей абстрактности и нереальности языка по времени точно соответствуют растущая разобщенность людей и распад сообществ...»

Затем он добавил:

«В этой вырождающейся системе учета язык почти утратил право именовать предметы и явления, поскольку его методично используют для того, чтобы не говорить ни о чем конкретном. Все внимание сосредоточено на процентах, категориях, абстрактных функциях... Такой язык вряд ли кто-то захочет защищать или развивать, потому что он ни для кого не представляет важности или ценности. Его единственное полезное применение состоит в том, чтобы поддерживать с помощью «мнения экспертов» широкое и безликое технологическое развитие, которое уже идет полным ходом... Это язык тиранов — тиранийский» *.

Первый шаг в уважении языка — беречь его конкретность, смысловое содержание и точность — это составная часть задачи по поддержанию чистоты и точности информационных потоков. Второй шаг — расширять язык, чтобы он соответствовал нашему растущему пониманию систем. У эскимосов огромное количество слов для именования снега, потому что они знают и умеют использовать снег. Он для них жизненно важен — это ресурс, система, с которой они могут двигаться в едином ритме. Промышленное общество только начинает создавать и

использовать слова для именования систем, потому что их сложности и их использованию мы стали уделять внимание совсем

*** *Wendell Berry*. Standing by Words. San Francisco: North Point Press, 1983. 24, 52.**

недавно. *Самоподдерживающая емкость, структура, разнообразие,* и даже *система* — все это старые слова, но в них вложен новый смысл. Предстоит изобрести и новые слова.

Первую версию этой книги я набирала в текстовом редакторе, у которого была функция проверки орфографии. Забавно, но тогда в словаре не было ни *обратной связи,* ни *производительности,* ни *выхода за пределы,* ни *самоорганизации,* ни *самоподдержания* — все эти слова мне пришлось занести в словарь самой.

Уделяйте внимание всему, что важно, а не только тому, что можно подсчитать

Наша механистическая культура буквально помешана на цифрах. Создается впечатление, что всё, что поддается исчислению, гораздо важнее для нас, чем то, что подсчитать нельзя. Задумайтесь над этим. Это означает, что для нас количество важнее, чем качество. Если мы задаем обратным связям цели в численной форме, если в центре внимания всегда количество, если язык и все организации оперируют количественными показателями, если для мотивации и оценки достижений используются числа, если мы вознаграждаем себя за достигнутые количества, то именно количество и будет результатом. Оглядитесь вокруг, и вы сами увидите, чем характеризуется современный мир: качеством или количеством.

Наши коллеги-ученые не раз высмеивали нас за то, ЧТО при моделировании мы использовали такие переменные как «предубеждение», «самооценка», «качество жизни» Поскольку компьютеры требуют от нас цифр, нам пришлось разработать количественные шкалы для измерения таких качественных понятий. Делалось это так: «Пусть диапазон значений предвзятости и предубеждения будет от -10 до +10, где 0 означает, что предубеждение отсутствует и вас оценивают объективно, -10 означает максимальное убеждение против вас, а +10 — максимальную предвзя-

тость в вашу пользу, когда все уверены в вашей непогрешимости. Теперь представим себе, что вы сталкиваетесь с предубеждением со значением -2, или +5, или -8. Как это

повлияет на вашу работу и производительность труда?»

Однажды нам действительно пришлось моделировать взаимосвязь между предубеждением и производительностью труда.* Исследование проводилось для частной компании, которая хотела выяснить, как лучше организовывать ТРУД работников из числа различных меньшинств, чтобы они могли продвигаться по корпоративной лестнице. Все опрошенные сотрудники согласились, что между предвзятостью и производительностью труда действительно существует зависимость. Шкала для измерения при этом особого значения не имеет — она может быть от 1 до 5 или от 0 до 100. Вы считаете, это ненаучно? На самом деле с научной точки зрения было бы огромной ошибкой исключить предвзятость из рассмотрения только потому, что этот параметр раньше никто не пытался оценить численно. Когда сотрудников компании попросили описать зависимость между предубеждением и производительностью труда, мы получили не просто нелинейную функцию, а самую сильную нелинейность из всех, какие только встречались нам в моделях.

Если притворяться, что явления не существует только потому, что его сложно численно оценить, то модели будут полностью ошибочными. Вы уже познакомились с системными ловушками, возникающими из-за неверных целей, когда в качестве желаемого значения задается то, что легко измерить, а не то, что на самом деле важно. Не попадайте в эту ловушку! Люди наделены не только даром математического счета, но и умением оценивать качество. Станьте детектором качества — этаким ходячим счетчикои Гейгера, регистрирующим наличие или отсутствие качества. Причем счетчиком, способным говорить.

*** Эту историю автору рассказал Эд Робертс из компании Pugh-Roberts Associates.**

Если что-то плохо, не молчите. Если что-то неприемлемо, безобразно, несоразмерно, неустойчиво, разрушительно для окружающей среды, способствует моральной деградации или попирает человеческое достоинство, не проходите мимо. И пусть вас не останавливает отговорка, что «если вы не можете определить и измерить это, значит, оно не заслуживает вашего внимания». Никто не может дать определение и измерить справедливость, демократию, безопасность, свободу, правду, любовь... Никто не может определить и измерить моральные ценности. Но если в системе про них не будут говорить, если система не предназначена для того, чтобы к ним стремиться, если мы не будем заявлять о том, что они есть или их нет, то они просто перестанут существовать.

Используйте стратегию обратных связей в системах, где они есть

Президент Джимми Картер обладал редкой способностью мыслить в терминах обратных связей и разрабатывать стратегии на их основе. К сожалению, ему не удавалось доходчиво объяснить это прессе и широкой публике — они не понимали сути обратной связи.

Во времена, когда объемы импорта нефти в США были очень велики, Картер предложил ввести налог на топливо, пропорциональный доле импортированной нефти в общем количестве потребленного топлива. Если импорт продолжил бы расти, налог увеличивался бы до тех пор, пока не ограничил спрос и не сделал бы выгодным поиск заменителей и сокращение импорта. Если бы импорт упал до нуля, то и налог стал бы нулевым.

Этот налог так и не удалось ввести.

Картер пытался справиться и с лавиной иммигрантов из Мексики. Он заявлял, что с потоком иммигрантов ничего не удастся сделать до тех пор, пока между США и Мекси кой существует пропасть по качеству жизни и возможностям выбиться в люди. Картер считал, что деньги надо тра-

тить не на обустройство границ и кордонов, а на помощь мексиканской экономике, и вкладывать средства необходимо до тех пор, пока поток иммигрантов не иссякнет.

Этим предложениям тоже не суждено было воплотиться в жизнь.

Понятно, что динамичная система с обратными связями, способная к адаптации, не может управляться статичной, негибкой стратегией. Гораздо проще и эффективнее (а зачастую еще и на порядок дешевле) разрабатывать стратегии, изменяющиеся в зависимости от состояния системы. Особенно в тех случаях, когда в системе много неопределенностей. Лучшие стратегии содержат не только циклы обратной связи, но и метациклы, которые изменяют, корректируют и расширяют петли обратной связи. Такие стратегии способны *учиться* и используют это для управления.

В качестве примера могу привести знаменитый Монреальский протокол, принятый для защиты стратосферного озонового слоя. Протокол был подписан в 1987 г., но в то время еще не было достоверно установлено, какой именно опасности подвергается озоновый слой; существовали сомнения и насчет скорости его разрушения, и насчет влияния на это определенных химических соединений. Протокол включал график уменьшения

производства самых опасных для озонового слоя химических соединений. Но кроме того он еще потребовал постоянно отслеживать положение дел, чтобы созвать международный конгресс для изменения графика, если выяснится, что опасность для озонового слоя была недооценена или, наоборот, преувеличена. Тремя годами позже, в 1990 г., график пришлось изменить, чтобы существенно ускорить принятие мер. Тогда же в список опасных веществ внесли дополнительные химические соединения, потому что опасность для озонового слоя оказалась гораздо больше, чем предполагалось в 1987 г.

Это стратегия использует обратные связи, и она умеет учиться. Будем надеяться, что ее приняли вовремя.

Стремитесь к пользе для системы в целом

Помните, что иерархические системы должны отвечать потребностям нижних уровней, а не верхушки. Не расширяйте части систем или подсистем в ущерб целому. Как однажды сказал Кеннет Боулдинг: «Не влезайте в большие проблемы, чтобы оптимизировать то, что вообще оптимизировать не надо». Стремитесь улучшить свойства всей системы как целого — рост, стабильность, разнообразие, устойчивость и самоподдержание — и неважно, легко ли эти свойства измерить численно.

Прислушайтесь к мудрости самой системы

Помогайте и стимулируйте те силы и структуры системы, которые помогают ей работать самой. Обратите внимание: многие из этих сил и структур относятся к нижнему уровню иерархии. Не вмешивайтесь в систему необдуманно и не нарушайте ее внутренние механизмы самоподдержания. Прежде чем менять что-то в надежде улучшить ситуацию, присмотритесь к тому, что система уже имеет, чтобы не потерять то хорошее, что в ней есть.

Мой хороший знакомый, Натан Грей, однажды работал в гуманитарной миссии в Гватемале. Он с горечью рассказывал об агентствах, которые намеревались «создавать рабочие места», «увеличивать предпринимательскую активность» и «привлекать внешних инвесторов». Они не обращали никакого внимания на бурно развивающийся местный рынок, где люди были заняты в малом бизнесе самого разного рода — от плетения корзин и выращивания овощей до мелкой торговли мясными продуктами

или сладостями. Эти люди сами создали для себя рабочие места и демонстрировали отличные предпринимательские способности. Натан разговаривал с торговцами на рынке, спрашивал их о жизни и работе, чтобы выяснить, каким путем можно расширить такой бизнес и сделать его прибыльнее. Он заключил, что тут нужны не внешние инвесторы, а внутренние

Небольшие займы под разумные проценты, курсы грамотности и бухгалтерского учета принесут местным сообществам гораздо больше пользы на много лет вперед, чем строительство завода или сборочного производства некими внешними силами.

Определите, кто и за что отвечает в системе

Это необходимо и для анализа существующих систем, и для создания новых. При проведении анализа нужно изучить все механизмы системы, определяющие ее поведение. Уделите особое внимание событиям, служащим в системе спусковым крючком, а также тем внешним влияниям, которые определяют, какой тип поведения из возможных вариантов изберет система. Иногда такими внешними влияниями можно управлять (например, уменьшать со держание патогенных микроорганизмов в питьевой воде, чтобы подавить распространение инфекционных заболеваний). А иногда нельзя. Порой люди так увлекаются поиском виноватых или попытками взять внешние факторы под контроль, что проходят мимо гораздо более простого решения: увеличить уровень ответственности внутри самой системы.

Внутренняя ответственность означает, что система за счет обратной связи дает непосредственный и быстрый отклик о последствиях принятых решений, причем в такой форме, которую лица, принимавшие решение, проигнорировать не могут. Если пилот самолета сидит за штурвалом, значит, он несет внутреннюю ответственность в системе Он ощутит прямые последствия своих решений.

Когда в Дартмутском колледже управление системой кондиционирования отдали централизованной компьютерной системе и сняли отдельные пульты управления в помещениях и аудиториях, уровень внутренней ответственности снизился. Этой мерой надеялись добиться экономии энергии. Но нижние уровни иерархии в этой систе-ме — студенты и преподаватели — ощутили иное последствие: большие колебания температуры в помещениях. Если температура в моем кабинете слишком высока, теперь я не могу сама подрегулировать термостат. Вместо этого я

должна позвонить службе эксплуатации, чтобы они скорректировали работу системы (что может занять часы или даже дни). К тому же иногда они перебарщивают в своей коррекции, и тогда приходится звонить им снова, потому что стало слишком холодно. Вместо того, чтобы понижать уровень ответственности в системе, надо было его повысить: позволить профессорам самим регулировать температуру в кабинетах, но при этом выставлять им прямые счета за потребленную энергию — т. е. приватизировать общий ресурс.

Внутренняя ответственность в системах может включать, например, требование, чтобы все города и производства, сбрасывающие загрязненные стоки, располагали выпускную трубу *выше по течению,* чем водозабор. Внутренняя ответственность может подразумевать, что ни страховые компании, ни государственный бюджет не должны оплачивать медицинские расходы, связанные с курением. Или оплачивать лечение после аварии мотоциклисту, не надевшему защитный шлем, или водителю автомобиля, не пристегнутому ремнем безопасности. Внутренняя ответственность не позволит Конгрессу издавать законы, создающие новые привилегии для конгрессменов (Конгресс много напринимал таких законов, включая предоставление преимущественных прав при найме и необходимость подготовки заключений о воздействии на окружающую среду). В свое время очень большая доля внутренней ответственности в мире была утрачена, когда те, кто провозгласил войну, перестали лично вести войска в бой. Ведение боевых действий стало более безответственным, когда военные получили возможность дистанционно, одним нажатием кнопки вызывать чудовищные разрушения, причем тот, кто нажал эту кнопку, никогда не столкнется с этими разрушениями лично и даже не увидит их.

Гаррет Хардин заметил, что противникам абортов не свойственна внутренняя ответственность, поскольку в этом случае они, требуя запретить аборты для других, должны были бы предложить взять воспитание нежеланных детей на себя.[25]

Все эти примеры достаточно ясно показывают, что современная цивилизация уделяет очень мало внимания ответственности внутри действующих систем, а в создаваемых системах те, кто принимает решения, не ощущают на себе их последствий.

Не останавливайтесь на достигнутом. Учитесь!

Системное мышление научило меня больше доверять интуиции и меньше — кажущейся рациональности. Кроме того, оно показало, что, сколько бы мы ни учились, все равно надо быть постоянно готовыми к неожиданностям. Работа с природными, социологическими и компьютерными системами, изучение реальных ситуаций в организациях — все это постоянно напоминает мне, насколько ущербны и неполны мысленные модели, как сложен мир и сколько еще в нем неизведанного.

Если вы чего-то не знаете, то не надо обманывать себя и останавливаться на достигнутом — надо учиться дальше. Учиться на собственном опыте — как говорил Бакминстер Фуллер, методом проб и ошибок, ошибок, ошибок. В мире сложных систем невозможно продвигаться вперед, если идти в одном-единственном, раз и навсегда установленном направлении. Придерживаться одного курса можно только в том случае, если он точно правильный, а этого никто гарантировать не может. Тешить себя иллюзиями, что вы управляете системой, хотя на самом деле это не так — значит, не только наделать массу ошибок, но и не иметь ника-

кой возможности извлечь из них урок. Когда вы учитесь, надо идти небольшими шажками, постоянно наблюдать за происходящим и быть готовым сменить курс, если станет понятно, что он ведет не туда.

Это очень непросто. Это означает, что вы неизбежно будете совершать ошибки, и что их нужно уметь признавать. Психолог Дон Майкл называет это «использованием ошибок». Чтобы извлекать пользу из собственных ошибок, нужно обладать мужеством, потому что сначала их нужно признать.

«Ни мы сами, ни наши коллеги, ни публика, которая должна во всем этом участвовать, ... не можем заранее знать, что произойдет или может произойти, если мы будем действовать так, словно владеем всеми фактами, имеем точную информацию обо всех проблемах, как будто мы наверняка знаем, какие последствия могут или должны быть, и уверены, что достигнем самых благоприятных результатов. Более того, если при изучении сложных социальных проблем мы будем вести себя так, словно всегда все знали наперед, то нам просто никто не будет доверять... Недоверие к общественным деятелям и институтам постоянно растет. Помочь справиться с этой тенденцией к ухудшению может сам факт признания неопределенности.

Использование ошибок — необходимое условие обучения. Это означает, что нужно искать и использовать информацию о собственных ошибках, о том, что пошло не так, чем результат отличается от ожидаемого. Этой информацией нужно делиться.

Использование ошибок и жизнь в мире с высоким уровнем неопределенности позволяет выявить самые уязвимые места и в нас самих, и в обществе в целом. Обычно мы пытаемся скрыть свои слабые стороны даже от себя, и уж тем более от окружающих. Но... если уж мы принимаем на себя ответственность... то нужно обладать гораздо большими «знаниями и самообладанием, чем принято в современном мире».

Да здравствует сложность!

Надо признать: Вселенная очень хаотична и беспорядочна. Она динамична, нелинейна, в ней постоянно что-то происходит. Ее поведение меняется, становится другим, оно очень далеко от четкого математического равновесия. Вселенная самоорганизуется и эволюционирует. Создает и разнообразие, и единообразие. Это и делает мир таким интересным, притягательным, жизнеспособным.

Видимо, человеческому мышлению более приятны прямые линии, а не кривые, целые числа, а не дроби, единообразие, а не разнородность, достоверность и точность, а не загадки. Но все-таки в нас заложены и противоположные стремления, ведь мы сами эволюционировали из сложных систем с обратными связями, сформированы ими и представляем собой такие системы. Лишь часть нашего естества, причем недавно возникшая, строит дома — бетонные коробки, использует идеально прямые линии и ровные поверхности. А другая, более древняя часть, интуитивно знает, что природа предпочитает фракталы, в которых любой масштаб, от микро- до макроскопического, показывает подробную и увлекательную картину мира. Эта часть нашей натуры строит готические соборы, создает персидские ковры, пишет симфонии и романы, шьет карнавальные костюмы, пытается разработать искусственный интеллект — причем делает все это с такими деталями и украшениями, что их сложность почти сопоставима со сложностью окружающего мира.

Мы можем восхищаться сложностью и поощрять самоорганизацию, творческий беспорядок, разнородность и многообразие — и некоторые из нас так и делают. Некоторые даже считают это нравственной нормой — как, например, Олдо Леопольд, создавший свою этику Земли: «Правильно то, что сохраняет целостность, стабильность и красоту биологического сообщества. То, что делает наоборот — неправильно».[26]

Расширяйте временные горизонты

Одно из самых скверных изобретений человечества — банковский процент. Это привело к возникновению понятий «срок окупаемости», «учетная ставка» и т. п. — все они используются как количественный, рациональный повод к тому, чтобы игнорировать долговременные перспективы.

Официальный временной горизонт в промышленном обществе распространяется не дальше следующих выборов или срока окупаемости текущих инвестиций. Даже временной горизонт семьи больше — он охватывает жизнь детей, а то и внуков. Во многих индейских культурах активно обсуждались и влияли на принятие решений последствия, возможные вплоть до седьмого колена. Чем шире выбранный временной горизонт, тем больше шансов на выживание. Кеннет Боулдинг писал по этому поводу:

«Общество, утратившее идентичность и не передающее потомкам свои характерные черты, потерявшее веру в лучшее будущее, заодно лишается и способности решать текущие проблемы, и в результате разрушается — в истории тому есть масса примеров... Есть что-то притягательное в том, чтобы жить свободными как птицы, не думая о завтрашнем дне. Заботит ли птиц судьба их потомков? ... Может, нам надо просто выйти наружу и, как птицы, безмятежно нагадить где-нибудь? Однако из-за застарелой привычки думать о завтрашнем дне я никак не могу согласиться с таким решением... [27].

Вообще-то говоря, со строго системной точки зрения не существует деления на кратковременную и долговременную перспективу. Явления с разными временными масштабами просто вложены друг в друга. Предпринимаемые действия имеют одни последствия, которые проявляются сразу же, и другие, сказывающиеся десятилетиями позже. Сегодня мы ощущаем последствия от действий, которые были выполнены вчера, десятки и сотни лет назад. Смешение очень быстрых и очень медленных процессов иногда дает сильный эффект, а иногда слабый. Когда доминирует медленный процесс, кажется, что ничего не происходит; когда верх берет быстрый, события сменяют друг друга со скоростью, от которой захватывает дух. Системы без конца смешивают и разделяют большое и малое, быстрое и медленное.

Если пришлось идти по извилистой тропинке, полной препятствий и неожиданностей, неизвестным путем, то только глупец при этом будет смотреть лишь на один шаг вперед и идти, опустив голову. И такой же глупец будет смотреть только вдаль,

совсем не глядя под ноги. Видеть надо и вблизи, и вдали — охватывать всю систему.

Не ограничивайтесь рамками своей профессии

Следуйте за системой, куда бы она ни повела, и неважно, какова ваша специальность, что говорят учебники и в чем вы, по вашему мнению, досконально разбираетесь. Система неизбежно будет нарушать границы между областями знаний. Чтобы понять ее, вам придется учиться самым разным вещам — экономике, химии, психологии, богословию — и список можно продолжать еще долго. Придется осваивать профессиональные термины, пытаться понимать специалистов в этих областях, выяснять, что они на самом деле могут видеть в своей научной сфере, отсекать искажения, возникающие из-за узости взглядов и неполноты теорий. Причем облегчать жизнь вам никто не будет.

Чтобы видеть систему как целое, простой «междисциплинарности» мало. Недостаточно свести вместе профессионалов в разных областях и дать им поговорить друг с другом. Междисциплинарный подход сработает только тогда, когда действительно существует проблема, которую нужно решить, и есть специалисты в разных областях науки, стремящиеся именно найти решение, а не соблюсти академическую правильность изложения. Им всем придется учиться друг у друга. Им придется признавать свое незнание и быть готовыми воспринять новую информацию у других специалистов и у самой системы.

Этого можно добиться. И всегда очень радует, когда это получается.

Не будьте равнодушными

Добиваться успеха в мире сложных систем означает не только раздвигать временные горизонты и расширять профессиональный кругозор. Это значит, что надо расширять границы того, о чем мы должны позаботиться. Не быть равнодушными. Не проходить мимо. Конечно, причины для этого в основном моральные. Но если моральных соображений недостаточно, тогда системное мышление даст вам практические основания, подкрепляющие мораль. В реальной системе все взаимосвязано. Никакая часть человечества не может быть отделена от других людей или вырвана из глобальной экосистемы. В нашем мире, где всё

связано со всем, сердце не может работать без легких, ком-пания не выживет без работников, богатые жители Лос-Анджелеса не смогут существовать, если погибнут все его бедные обитатели, а Европа не сможет обойтись без Африки. Глобальная экономика не выживет, если разрушится глобальная окружающая среда.

Большинство людей интуитивно чувствует связь между нравственными устремлениями и практическими соображениями, как и прочие связи, характерные для системного мышления. Мораль и практичность говорят об одном и том же. Людям надо лишь поверить тому, что они и так интуитивно знают.

Стремитесь к лучшему

Самый разрушительный из системных архетипов называется «стремление к худшему» — в современной промышленной культуре это означает, что утрачены нравственные ориентиры. Примеров работы такой ловушки масса, а последствия внушают страх.

Примеры отвратительного поведения людей выставляются напоказ, их тиражируют в средствах массовой информации, навязывают культуре, пока это не становится чем-то обыденным. Чего же вы ждали? Все мы не ангелы, всего лишь люди... А гораздо более многочисленные проявления настоящих человеческих качеств едва замечают, ведь на этом не сделаешь «горячую новость». Такие люди — исключения. Наверное, они святые. Нельзя же ожидать, что все будут вести себя, как они...

В результате планка снижается. Разница между желаемым и фактическим поведением становится меньше. Чтобы добиться желаемого и приблизиться к идеалу, предпринимается все меньше и меньше усилий. В обществе царит цинизм. Политические лидеры не скрывают и не стесняются аморального и безнравственного поведения, и никто не призывает их к ответу. Идеализм высмеивают. Если кто-то говорит, что верит в нравственные идеалы, это вызывает подозрения. Открыто говорить о ненависти гораздо проще, чем о любви. Натуралист и литературный критик. Джозеф Вуд Кратч сказал по этому поводу:

«Никогда раньше человек не был так доволен тем, что он имеет, или так уверен в своей способности *сделать* все, что ему захочется. Но в то же время раньше он никогда не давал такую низкую оценку тому, *что* он из себя представляет. Тот же научный подход, что позволил ему обрести богатство и овладеть мощными силами, по его мнению, заодно дал биологии и психологии разобрать по кирпичикам его самого — или, как

минимум, лишил его индивидуальности и ореола таинственности... При всем своем богатстве и технологической мощи, человек удручающе беден духовно».

Мы знаем, что делать, если в системе есть стремление к худшему. Не позволяйте плохим новостям больше влиять на вас, чем хорошим. Держите высокую планку.

Системное мышление может лишь посоветовать нам поступать так — оно не сделает это за нас. Мы снова возвращаемся к разнице между пониманием и реализацией на практике. Само по себе системное мышление не сделает шаг от понимания к действию, но оно позволит нам добиться максимума от анализа, а затем укажет, *что* может и должен сделать человек.

* ***Joseph Wood Krutch.*** **Human Nature and the Human Condition. New York: Random House, 1959.**

Приложения

- **Глоссарий**
- **Краткий обзор системных принципов**
- **Преодоление системных ловушек**
- **Точки воздействия для изменения поведения системы**
- **Жизнь в мире систем: рекомендации**
- **Уравнения, используемые в моделях**
- **Список источников по теме**
- **Алфавитный указатель**

Глоссарий

Архетипы — часто встречающиеся системные структуры, генерирующие определенные типы поведения.

Балансирующий цикл (контур, петля) обратной связи — стабилизирующий, стремящийся к определенной цели регулирующий цикл обратной связи, также известный под названиями «отрицательная обратная связь», «петля отрицательной обратной связи», поскольку противодействует любому изменению, которое пытаются вызвать в системе внешние силы.

Динамика — поведение системы или любого ее компонента во времени.

Динамическое равновесие — состояние системы, при **ко**тором значение запаса (его уровень или величина) **по**стоянно, не изменяется во времени, несмотря на **име**ющиеся входные и

выходные потоки. Такое состояние возможно только в том случае, если сумма **всех** входных потоков равна сумме всех выходных.

Запас — скопление определенного вещества или информации в системе по мере ее существования и функционирования.

Иерархия, иерархическая структура — внутренняя организация системы, позволяющая составить систему большего размера из меньших систем (подсистем).

Лимитирующий фактор — необходимый для системы входной поток, в определенный момент вызывающий ограничение ее деятельности.

Линейная зависимость — такая связь между двумя элементами системы, при которой результат всегда пропорционален причине. График линейной зависимости — прямая. Результаты могут суммироваться.

Нелинейная зависимость — такая связь между двумя элементами системы, при которой результат не пропорционален причине. Результаты суммироваться не могут, а график не имеет вид прямой.

Обратимое доминирование — изменение во времени относительной мощности конкурирующих петель обратной связи.

Ограниченная рациональность — логика, приводящая к принятию решений и выполнению действий, имеющих смысл только в части системы, но не разумных и не рациональных в более широких рамках или масштабах большей системы.

Парадигма — совокупность явных и неявных (и часто не осознаваемых) посылок, сложившихся представлений, понятий, подходов и методов исследования, признанных на данном этапе развития науки и господствующих в обществе в течение определенного исторического периода. Смена парадигм может представлять собой эволюционный переход или качественный скачок в развитии науки и общества.

Поток — вещество или информация, входящие в запас или исходящие из запаса в течение определенного времени.

Самоорганизация — способность системы создавать собственную структуру, порождать новые структуры, учиться, увеличивать разнообразие.

Самоподдерживающая (экологическая) емкость — емкость окружающей природной среды, ее способность выдерживать антропогенные нагрузки, разлагать вредные химические выбросы и переносить иные воздействия в той степени, в которой они не приводят к деградации земель и всей окружающей среды.

Система — совокупность элементов или частей, упорядоченных определенным образом и связанных друг с другом в

структуру, которая демонстрирует характерные типы поведения (что часто называют *функцией* или *назначением* системы).

Системное мышление — новый способ описания и познания окружающего мира, учитывающий, что «всё связано со всем», что взаимосвязи могут носить нелинейный характер и образовывать циклы обратных связей, что система в целом представляет собой нечто большее, чем простая совокупность составляющих ее частей. Специалистов в области системного мышления и системной динамики называют системными мыслителями или системщиками.

Субоптимизация — поведение, возникающее в случае, если цели подсистемы достигаются в ущерб целям всей системы (доминируют над ними).

Упругость, устойчивость, гибкость системы — способность восстанавливаться после внешнего воздействия или возмущения, способность вернуться к прежнему состоянию, восстановить свою структуру после изменения, вызванного внешними силами.

Усиливающий цикл (контур, петля) обратной связи - усиливающий, увеличивающий цикл обратной связи, также известный под названиями «положитель-

ная обратная связь», «петля положительной обратной связи», поскольку она усиливает изменения в системе в том же направлении, что и первоначальное воздействие. Такие контуры также называют «маниакальными» циклами обратной связи, хотя иногда подобные структуры приносят благо, если речь не идет

о материальном росте.

Цикл (контур, петля) обратной связи — механизм (правило, информационный поток или сигнал), позволяющий изменению запаса влиять на поток, входящий в запас или исходящий из него. Представляет собой цепочку причинных связей, замкнутую вокруг запаса. Причинные связи реализуются через набор решений, правил, физических законов или действий, зависящих от величины самого запаса. Изменение запаса вызывает изменение потока, что, в свою очередь, оказывает воздействие на дальнейшее изменение запаса.

Краткий обзор системных принципов

Системы

■ Система — нечто большее, чем просто сумма составляющих ее частей.

■ Многие взаимосвязи в системах реализуются через потоки информации.

■ Наименее явная часть системы — ее назначение или цель — оказывает определяющее влияние на поведение системы.

■ Структура системы определяет ее поведение. Поведение системы проявляется в виде событий, происходящих в определенной последовательности.

Запасы, потоки и динамическое равновесие

■ Запасы и уровни отражают хронологию изменений потоков в системе.

■ Если сумма всех входных потоков превышает сумму всех выходных потоков, уровень или объем запаса будет расти.

■ Если сумма всех выходных потоков превышает сумму всех входных потоков, уровень или объем запаса будет уменьшаться.

■ Если сумма всех выходных потоков равна сумме всех входных потоков, уровень запаса будет неизменным; в таких случаях устанавливается динамическое равновесие.

■ Запасы можно увеличивать как за счет роста потоков на входе, так и за счет уменьшения потоков на выходе.

■ Запасы приводят к возникновению запаздываний и служат в системе своего рода буфером, амортизирующим внешние воздействия.

■ Запасы позволяют входным и выходным потокам не зависеть друг от друга и не уравновешиваться в течение какого-то времени.

Циклы (контуры, петли) обратной связи

■ Цикл (петля) обратной связи представляет собой цепочку причинно-следственных связей, исходящую из запаса и возвращающуюся к нему же. Связи реализуются через набор решений, правил, физических законов или действий, зависящих от величины самого запаса. Изменение запаса вызывает изменение потока, в свою очередь, вызывающее дальнейшее изменение запаса, и т. д.

■ Балансирующие циклы обратной связи служат выравнивающими структурами в системе, позволяют достичь желаемого значения, выполняют функции одновременно источника стабильности и противодействия изменениям.

■ Усиливающие циклы обратной связи раскручивают сами себя, приводя к экспоненциальному росту или даже выходу системы за пределы.

■ Информация, которую передает цикл обратной связи (даже если эта связь не носит физического, вещественного характера), может повлиять только на будущее поведение. Сигнал

невозможно доставить настолько быстро, чтобы это позволило скорректировать поведение, вызывающее текущую обратную связь.

■ В балансирующий цикл обратной связи, направленный на поддержание запаса неизменным, нужно вносить поправку на то, чтобы компенсировать влияющие на него же постоянные утечки, в каком бы направлении они ни происходили. Без такой поправки система промахнется мимо желаемого значения, и запас достигнет либо меньшей, либо большей величины.

■ Системы с одинаковой структурой обратных связей демонстрируют схожие типы поведения.

Обратимое доминирование, запаздывания и колебания

■ Сложное поведение систем часто объясняется переходом доминирования от одного цикла обратной связи к другому. В этом случае в разные моменты времени поведение системы определяют разные петли обратной связи.

■ Запаздывание в балансирующем цикле обратной связи приводит систему к колебаниям.

■ Изменение величины запаздывания может привести к очень серьезным изменениям в поведении системы.

Сценарии поведения и имитационные модели

■ Системно-динамические модели рассматривают возможные сценарии будущего поведения и отвечают на вопрос «Что, если... ? ».

■ Полезность (адекватность) модели зависит не столько от того, реалистичны ли сценарии изменения ее движущих сил (никто за это поручиться не может), сколько от того, реалистичны ли типы поведения, которые она демонстрирует.

Ограничения в системах

■ В физических системах, растущих по экспоненциальному закону, присутствует как минимум один усили-вающий цикл обратной связи и как минимум один балансирующий цикл, ограничивающий рост, — ведь чи одна физическая система в конечной окружающей среде не может расти бесконечно.

■ Невозобновимые ресурсы ограничены объемами запасов.

■ Возобновимые ресурсы ограничены скоростью воспроизводства.

Устойчивость, упругость, самоорганизация и иерархическое строение

■ У способности системы к самовосстановлению и устойчивости всегда есть пределы.

■ Системами нужно управлять, уделяя внимание не только производительности или стабильности. Необходимо

поддерживать их устойчивость и упругость.

■ Системы часто обладают свойством самоорганизации — способностью выстраивать собственную структуру, создавать новые структуры, учиться, видоизменяться, усложняться.

■ Иерархические системы развиваются с самого нижнего уровня. Исходная цель верхних уровней иерархии состоит в том, чтобы помогать нижним уровням достигать своих целей.

Причины неожиданного поведения систем

■ Многие взаимосвязи в системах нелинейны.

■ Отдельных, изолированных систем не существует. Мир непрерывен. Где провести искусственную границу вокруг системы, зависит от того, какая перед нами цель.

■ В любой момент времени для системы наиболее важен тот входной поток, который оказывает самое сильное лимитирующее воздействие.

■ Любой существующий объект или система со многими входными и выходными потоками окружены пределами, распределенными по разным уровням.

■ У роста всегда будут пределы.

■ Величина, растущая по экспоненциальному закону, достигает предела или сталкивается с ограничением удивительно быстро.

■ Если в циклах обратной связи есть длительные запаздывания, то для управления системой необходимо умение предвидеть.

■ Ограниченная рациональность каждого участника системы может приводить к решениям, которые вовсе не благоприятны для системы в целом.

Образ мыслей и модели

■ Все, что, как нам кажется, мы знаем о мире, — модель.

■ Наши модели очень хорошо соотносятся с реальностью.

■ Наши модели очень далеки от того, чтобы представлять мир во всей его полноте.

Преодоление системных ловушек

Сопротивление внешнему влиянию

Ловушка:

Когда различные участники системы пытаются изменить значение запаса каждый в своем направлении, результатом может быть сопротивление внешнему влиянию. Любые действия участников, особенно те, которые окажутся эффективными, приведут лишь к тому, что запас изменится в сторону от целей других участников системы, что породит дополнительное сопротивление. Результат не нравится никому, но все прилагают усилия к тому, чтобы его сохранить.

Способ выхода:

Снять давление. Собрать всех участников и перенаправить их силы с взаимного противостояния на достижение целей каждого путем, приемлемым для всех сторон. Или поставить более важную цель, которая стала бы общей для всех участников.

Трагедия общин (ресурсов общего пользования)

Ловушка:

Когда ресурс находится в общественном пользовании, каждый потребитель получает непосредственные блага от его использования. Но при злоупотреблении ресурсом негативные последствия распределяются на всех потребителей. Из-за этого обратная связь от состояния ресурса к потребителям, принимающим решения, очень слаба. В результате ресурс используется слишком интенсивно; он истощается, пока не разрушается полностью, становясь недоступным для всех.

Способ выхода:

Убеждать и обучать потребителей ресурса, чтобы они представляли себе последствия, к которым приведет злоупотребление ресурсом. Можно также установить или усилить обратную связь, приватизировав ресурс, — тогда каждый потребитель будет ощущать на себе прямые последствия собственных действий. Для тех ресурсов, которые приватизировать невозможно, необходимо регулировать доступ потребителей к ним.

Стремление к худшему

Ловушка:

Если позволять текущему состоянию системы влиять на стандарты (желаемое состояние системы), особенно если ощущается постоянное ухудшение, то усиливающий цикл обратной связи будет работать на дальнейшее уменьшение ожиданий и ухудшение состояния системы.

Способ выхода:

Поддерживать абсолютные стандарты (точки отсчета), не зависящие от текущего состояния. А еще лучше — позволить ожиданиям расти вместе с улучшением ситуации, вместо того, чтобы уменьшать их с ухудшением. Ту же самую структуру можно заставить работать на улучшение.

Эскалация конфликта

Ловушка:

Когда значение одного запаса меняется при попытке **пре**взойти значение другого запаса (и наоборот), в системе работает усиливающий цикл обратной связи. Он вызывает гонку вооружений, погоню за материальными благами, войну компроматов, перекрикивание друг друга, всё большее насилие. Эскалация всегда экспоненциальна и может чрезвычайно быстро привести к выходу за пределы. Если ничего не предпринимать, то всё кончится катастрофой для какой-то из сторон, ибо экспоненциальный рост не может длиться вечно.

Способ выхода:

Лучший способ избежать этой ловушки — не попадать в нее. Но если вы оказались в центре такой системы, то можете отказаться от соревнования (одностороннее добровольное разоружение), разорвав таким образом усиливающий цикл. Или можно договориться с другой стороной, чтобы образовать новую систему с балансирующими циклами, которые не дадут эскалации выйти за рамки разумного.

Успех к успеху

Ловушка:

Если награда победителей в соревновании состоит в том, что они смогут выигрывать еще и еще, возникает усиливающий цикл обратной связи. Если ему не препятствовать, то рано или поздно победитель получит все, а проигравшие исчезнут.

Способ выхода :

Увеличить разнообразие, разносторонне развиваться — это позволяет тем, кто проигрывает соревнование, выйти из текущей игры и начать новую. Строго ограничить долю пирога, которая причитается любому победителю (антимонопольные законы). Периодически сводить всех к одному уровню, отнимая преимущества у самых сильных игроков или давая их тем, кто слабее. Предусматривать такую награду в соревновании, которая

не будет влиять на результат следующего.

Поддерживающие средства: зависимости и мании

Ливушка:

Зависимость, привыкание, пагубное пристрастие возникают тогда, когда применяемое средство позволяет уменьшить или замаскировать симптом, но ничего не делает для реального решения проблемы. Не важно, вещество ли это, заглушающее чувства, или действия, скрывающие масштабы неприятностей, но использование подобных средств не дает принять меры, которые могли бы действительно решить проблему.

Если поддерживающее средство приводит к ослаблений) собственной способности системы регулировать свое состояние, тогда начинает действовать разрушительная усиливающая петля обратной связи — маниакальный цикл. Система истощается, поддерживающее средство нужно во все большем и большем количестве. Система становится еще более зависимой от этого средства и все меньше и меньше способна самостоятельно поддерживать желаемое состояние.

Способ выхода:

Лучший способ вырваться из этой ловушки — не попадать в нее. Остерегайтесь средств, облегчающих симптомы или заглушающих сигналы неблагополучия! Не прибегайте к мерам, которые на самом деле не решают проблему. Думайте не о краткосрочном облегчении, а об изменении структуры в долговременной перспективе.

Манипулирование правилами

Ловушка:

Правила, которые должны управлять системой, иногда провоцируют попытку их извратить. При этом создает :и видимость соблюдения правил или достижения целой, хотя на самом деле этого не происходит, а система только сильнее отклоняется от нормы.

Способ выхода:

Создать или переработать правила, чтобы направить изобретательность и творческие способности не на их извращение, а на достижение настоящей цели, ради которой эти правила и создавались.

Стремление к неверной цели

Ловушка:

Поведение системы сильно зависит от того, какие цели у циклов обратной связи. Если цели — индикаторы выполнения

правил — определены неточно или неполно, система может послушно стремиться к ним, достигая в итоге результата, которого никто не ожидал и не хотел.

Способ выхода:

Использовать показатели и цели, отражающие реальное благополучие системы. Особенно внимательно надо следить за тем, чтобы не путать результаты и усилия по их достижению — иначе вы получите систему, которая будет исправно производить усилия, а не результаты.

Точки воздействия для изменения поведения системы

(по порядку возрастания важности)

12. **Численные показатели**: переменные, константы, а также субсидии, налоги и стандарты

11. **Буфер**: размер запаса, оказывающий стабилизирующее влияние, в зависимости от величины потоков

10. **Структуры запасов и потоков**: физические системы и их точки пересечения

9. **Запаздывания**: величина задержки относительно скоростей изменения системы

8. **Балансирующие циклы (контуры) обратной связи**: мощность циклов относительно воздействий, которые они пытаются скомпенсировать

7. **Усиливающие циклы (контуры) обратной связи**: влияние прироста на движущие циклы

6. **Информационные потоки**: структура, определяющая, кто имеет доступ к информации, а кто — нет

5. **Правила**: стимулы, наказания, принуждение

4. **Самоорганизация**: добавление, изменение и эволюционные преобразования системных структур

3. **Цели**: назначение и функция систем

2. **Система взглядов и понятий**: мировоззрение, в рамкпх которого построена система — ее цели, структура, привила, запаздывания и другие параметры

1. **Расширение границ мировоззрения**

Жизнь в мире систем: рекомендации

1. Почувствуйте ритм системы
2. Вынесите на свет Божий свои мысленные модели

3. Уважайте, цените и распространяйте информацию
4. Используйте правильный язык и обогащайте его системными понятиями
5. Уделяйте внимание всему, что важно, а не только тому, что можно подсчитать
6. Используйте стратегию обратных связей в системах, где они есть
7. Стремитесь к пользе для системы в целом
8. Прислушайтесь к мудрости самой системы
9. Определите, кто и за что отвечает в системе
10. Не останавливайтесь на достигнутом. Учитесь!
11. Да здравствует сложность!
12. Расширяйте временные горизонты
13. Не ограничивайтесь рамками своей профессии
14. Не будьте равнодушными
15. Стремитесь к лучшему

Уравнения, используемые в моделях

О системах можно очень многое узнать даже без использования компьютера. Но раз уж вы изучили поведение простых систем (пусть даже *очень* простых), вы можете решить, что пора узнать, как строятся математические модели систем, чтобы построить собственную. Все модели, описанные в этой книге, изначально строились с помощью специального программного обеспечения *STELLA*, созданного компанией *isee systems Inc.* (раньше она называлась *High Performance Systems)*. Уравнения, приведенные в этой главе, записаны таким образом, чтобы их было несложно перевести в любое программное обеспечение, предназначенное для моделирования — например, в систему *Vensim* компании *Ventana Systems Inc.* или программные пакеты *STELLA* и *iThinh* компании *isee systems Inc.*

Перечисленные дальше уравнения — это именно те формулы, что применялись в девяти динамических моделях из первой и второй глав. «Преобразование» может производиться просто как выбор константы либо пред* ставлять собой расчет на основе других элементов модели. Во всех формулах *t* означает время, а шаг от одного этьпн расчета к следующему, то есть временной интервал, обозначается как *dt.*

Глава 1

Уровень воды в ванне (к рис. Ь, 6 и V)

Запас:

вода в ванне(t) =

= вода в ванне(t - dt) + (*вх. поток — вых. поток) • dt*

Начальная величина запаса:

вода в ванне = 50 л

Время *t* измеряется в минутах

Интервал dt = *1 мин*

Продолжительность расчета —*10 мин*

Входной поток:

вх. поток = 0 *л/мин для значений времени от 0 до 5 мин*

или

вх. поток = 5 л/мин для значений времени от 6 до 10 мин

Выходной поток:

вых. поток = 5 л/мин

Остывание или нагрев кружки с кофе (к рис. 10 и 11)

Остывание

Запас:

температура кофе(t) =

= температура кофе(t — dt) — остывание в ед. времени • dt

Начальная величина запаса:

температура кофе = 100 ˚С, 80 ˚С, 60 ˚С для трех разных расчетов модели

Время *t* измеряется в минутах

Интервал dt = *1 мин* Продолжительность расчета = *8 мин*

Выходной поток:

*остывание в ед. времени = разность температур * 10%*

Преобразования:

разность температур =

= температура кофе - комн. температура комн. температура = 18 ˚С

Нагрев

Запас:

температура кофе(t) =

*= температура кофе(t — dt) + нагрев в ед. времени * dt*

Начальная величина запаса:

температура кофе = 0 ˚С, *5 ˚С, 10 ˚С* для трех разных расчетов модели

Время t измеряется в минутах

Интервал dt = *1 мин*

Продолжительность расчета = *8 мин*

Входной поток:

*нагрев в ед. времени = разность температур * 10%*

Преобразования:

разность температур =
— комн. температура — температура кофе
комн. температура = 18 ˚C
Сумма на банковском счете (к рис. 12 и 13)
Запас:
сумма на счете(t) =
= сумма на счете(t — dt) + начисл. проценты * dt
Начальная величина запаса:
сумма на счете = 100 долларов
Время t измеряется в годах
Интервал dt = *1 год*
Продолжительность расчета = *12 лет*
Входной поток:
начисл. проценты (долларов/год) =
= сумма на счете • проц. ставка
Преобразование:
проц. ставка = = 2%, 4%, 6%, 8%, 10% годовых для пяти разных расчетов модели

Глава 2

Термостат (к рис. 14-20)
Запас:
комн. температура(t) = комн. температура(t - dt) + (тепло от обогревателя - утечки тепла) *dt
Начальная величина запаса:
комн. температура — 10 ˚C для случая с нагревом холодного помещения
комн. температура —18 ˚C для случая с нагревом обычного помещения
Время t измеряется в часах
Интервал dt = 1 час
Продолжительность расчета - 8 ч, 24 ч
Входной поток:
тепло от обогревателя — разность между желаемой и фактической температурой в помещении либо 5 ˚C, в зависимости от того, что меньше
Выходной поток:
утечки тепла — разность между температурой внутри и снаружи - 10% для дома с обычной теплоизоляцией или
утечки тепла — разность между температурой внутри и снаружи - 30%, если в доме плохая теплоизоляция
Преобразования:
настройка термостата - 18 ˚C
разность между желаемой и фактической температурой в помещении — 0 или ~ (настройка термостата - комн.

температура), в зависимости от того, что больше

разность между температурой внутри и снаружи -

— комн. температура - 10 ˚С при постоянной температуре на улице (рис. 16-18)

или

разность между температурой внутри и снаружи —

- комн. температура - температура на улице в течение суток (рис. 19 и 20);

температура на улице в течение суток варьируется от 10 ˚С (днем) до -5 ˚С (ночью), как показано ниже на графике.

Численность населения (к рис. 21-26)

Запас:

численность населения(t) = *численность населения*(t- dt) + *(рождаемость — смертность) * dt*

Начальная величина запаса:

численность населения = 6,6 млрд чел.

Время t измеряется в годах

Интервал dt = *1 год*

Продолжительность расчета = *100 лет*

Входной поток:

*рождаемость = численность населения * коэф. рождаемости*

Выходной поток:

*смертность = численность населения * коэф. смертности*

Преобразования:

К рис. 22:

коэф. смертности = 0,009 (9 чел. на тысячу)

коэф. рождаемости = 0,021 (21 чел. на тысячу)

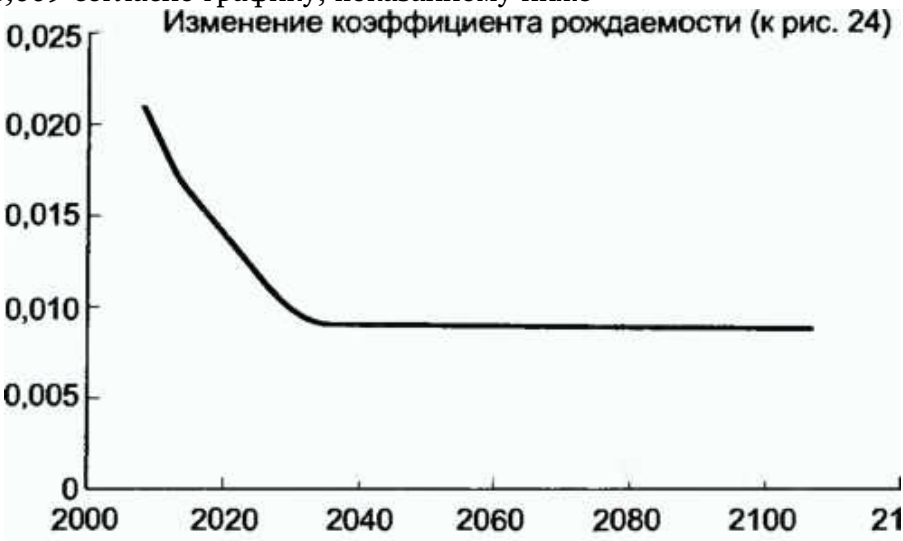
К рис. 23:

коэф. смертности = 0,030 коэф. рождаемости = 0,021

К рис. 24:

коэф. смертности - 0,009

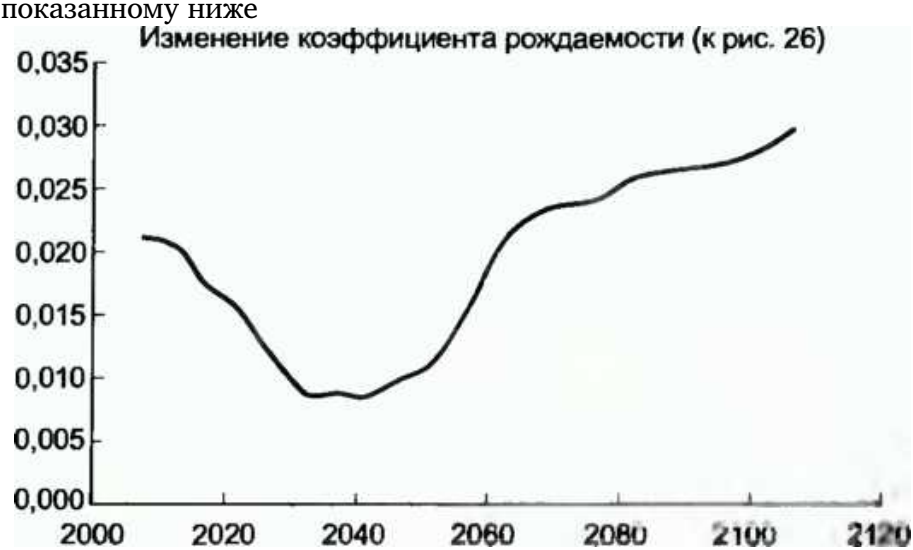
коэф. рождаемости = сначала *0,021,* затем уменьшается до *0,009* согласно графику, показанному ниже



К рис. 26:

коэф. смертности = 0,009

коэф. рождаемости = сначала *0,021,* затем уменьшается до *0,009,* однако затем возрастает до *0,030* согласно графику, показанному ниже



Величина капитала (к рис. 27 и 28)

Запас:

капитал(t) =

= *капитал*(t — dt) + *(инвестиции — амортизация)* • dt

Начальная величина запаса:

капитал = 100

Время t измеряется в годах

Интервал dt = *1 год*

Продолжительность расчета = *50 лет*

Входной поток:

*инвестиции = годовое производство * % реинвестирования*

Выходной поток:

*амортизация = капитал * срок службы капитала*

Преобразования:

годовое производство =

= капитал - производство на ед. капитала

срок службы капитала — 10 лет, 15 лет, 20 лет для трех разных расчетов модели

% *реинвестирования = 20%*

производство на ед. капитала = 1/3

Автомобили на складе у дилера (к рис. 29-36)

Запас:

кол-во автомобилей у дилера(t) = *кол-во автомобилей у дилера(t— dt) + (доставка от производителя — продажи) * dt*

Начальная величина запаса:

кол-во автомобилей у дилера = 200

Время t измеряется в днях

Интервал dt = *1 день*

Продолжительность расчета =*100 дней*

Входной поток:

достатка от производителя = 20 машин для значений времени от 0 до 5 дней

или

доставка от производителя = величина заказа производителю — запаздывание доставки) для значений времени от 6 до 100 дней

Выходной поток:

продажи = запросы заказчиков или = *кол-во автомобилей у дилера,* в зависимости от того, что меньше

Преобразования:

запросы заказчиков = 20 автомобилей в день для значений времени от 0 до 25 дней или

запросы заказчиков = 22 автомобиля в день для значений времени от 26 до 100 дней

ожидаемые продажи = продажи, усредненные за время

запаздывания восприятия (то есть средние продажи за *время = запаздывание восприятия)*

*желаемый запас на складе = ожидаемые продажи * 10*

разность = желаемый запас на складе — кол-во автомобилей у дилера

величина заказа производителю = ожидаемые продажи + разность или *= 0,* в зависимости от того, что больше, для рис. 32 либо

величина заказа производителю = ожидаемые продажи + разность / запаздывание отклика или *= 0,* в зависимости от того, что больше, для рис. 34—36

Запаздывания, к рис. 30

запаздывание восприятия = 0

запаздывание отклика = 0

запаздывание доставки = 0

Запаздывания, к рис. 32

запаздывание восприятия = 5 дней

запаздывание отклика = 3 дня

запаздывание доставки = 5 дней

Запаздывания, к рис. 34

запаздывание восприятия = 2 дня

запаздывание отклика = 3 дня

запаздывание доставки = 5 дней

Запаздывания, к рис. 35

запаздывание восприятия = 5 дней

запаздывание отклика = 2 дня

запаздывание доставки = 5 дней

Запаздывания, к рис. 36

запаздывание восприятия = 5 дней

запаздывание отклика = 6 дней

запаздывание доставки = 5 дней

Невозобновимый запас препятствует использованию возобновимого запаса (к рис. **37-41)**

Запас:

ресурс(t) = *ресурс(t - dt) - добыча* • dt

Начальная величина запаса:

ресурс = 1000 для рис. 38, 40 и 41 или

ресурс = 1000, 2000, 4000 для трех разных расчетов **мо**дели на рис. 39

Время t измеряется в годах

Интервал dt = *1 год*

Продолжительность расчета = *100 лет*

Выходной поток:

*добыча = капитал * добыча на ед. капитала*

Запас:

капитал(t) = *капитал*(t — dt) + *(инвестиции — амортизация) * dt*

Начальная величина запаса: *капитал = 5*

Входной поток:

инвестиции = прибыль или *= вложения в рост,* в зависимости от того, что меньше Выходной поток:

амортизация = капитал / срок службы капитала

Преобразования:

срок службы капитала = 20 лет

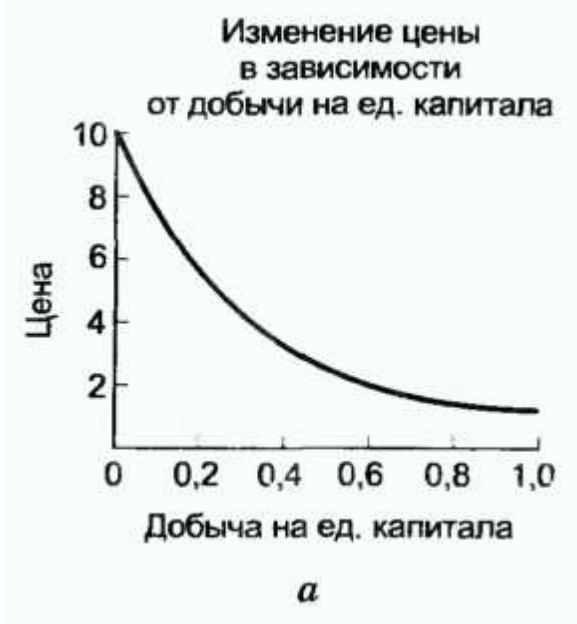
*прибыль = цена - добыча - капитал - 10% вложения в рост = капитал * 10%* дпя рис. 30—39

или

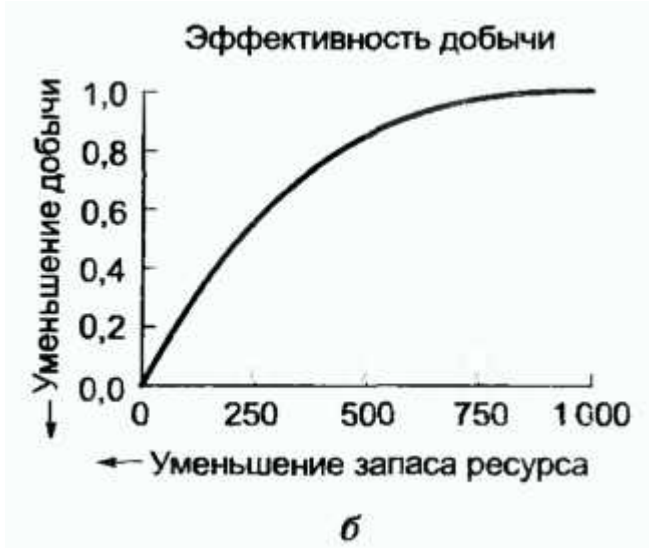
*вложения в рост — капитал * 6%, 8%, 10%, 12%* для четырех разных расчетов модели на рис. 40 *цена = 3* для рис. 38, 39 и 40

или

цена = 1,2, когда *добыча на ед. капитала* высока, затем возрастает *до 10* при снижении *добычи на ед. капитала* (рис. 41); изменение цены показано на графике ниже (а) *добыча на ед. капитала* начинается со значения *1*, пока запас ресурса велик, но затем снижается до *0* по мере истощения ресурса; изменение *добычи на ед. капитала* показано на графике ниже *(б)*



а



б

Использованию возобновимых запасов препятствуют ограничения самих возобновимых запасов (к рис. 42-45)

Запас:

ресурс(t) = ресурс(t — dt) — (возобновление — вылов) • dt

Начальная величина запаса: *ресурс = 1000*

Время *t* измеряется в годах

Интервал *dt = 1 год*

Продолжительность расчета *=100 лет*

Входной поток:

*возобновление = ресурс * коэф. возобновления*

Выходной поток:

вылов = капитал • улов на ед. капитала

Запас:

капитал(t) *= капитал(t - dt) + (инвестиции — амортизация)* * dt

Начальная величина запаса:

капитал — 5

Входной поток:

инвестиции = прибыль

или

= вложения в рост, в зависимости от того, что меньше

Выходной поток:

амортизация = капитал / срок службы капитала

Преобразования:

срок службы капитала = 20 лет

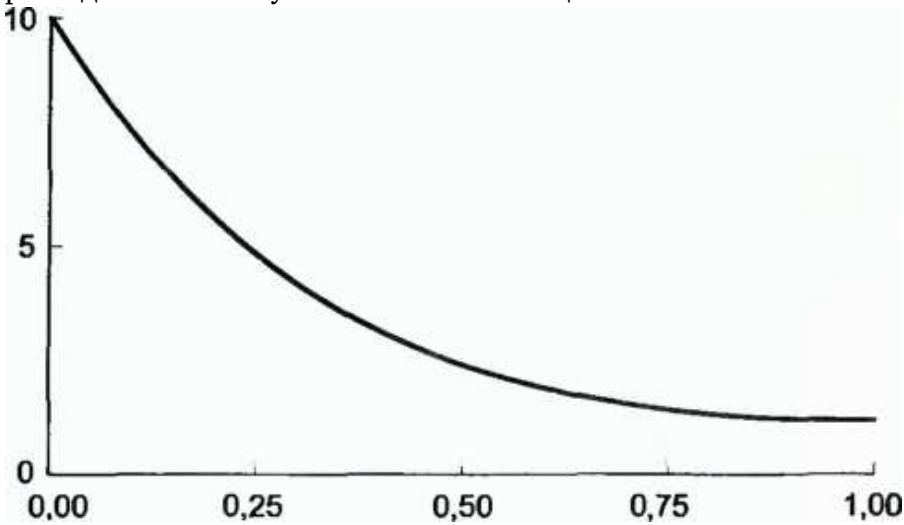
вложения в рост = капитал • 10%

прибыль = цена • вылов — капитал • 10%

цена = 1,2, когда *улов на ед. капитала* высок, затем возрастает *до 10* при снижении *улова на ед. капитала.* Изменение

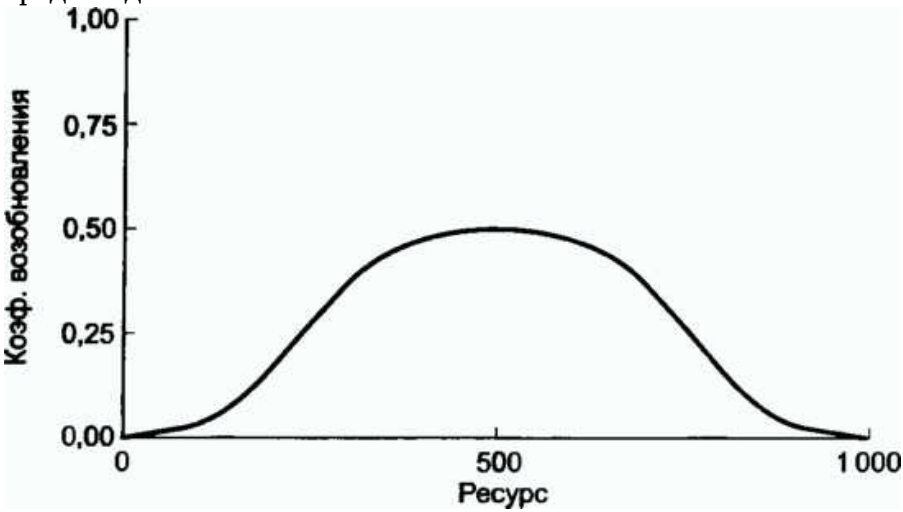
цены происходит по той же нелинейной зависимости, что и в предыдущей модели.

коэф. возобновления = 0, если ресурс еще не начал расходоваться или уже полностью истощен



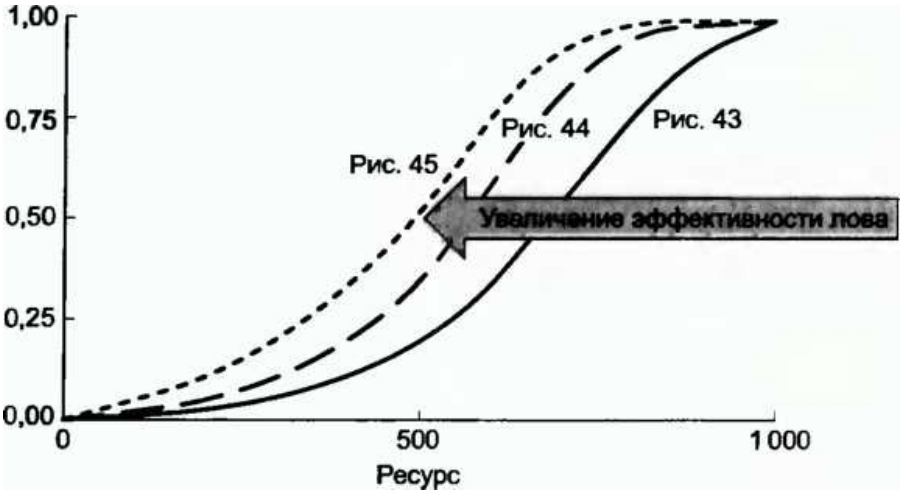
или

коэф. возобновления (и остальных случаях) изменяется согласно графику, достигая максимального значения *0,5* в середине диапазона



улов на ед. капитала начинается со значения 1, пока запас ресурса велик, но затем нелинейно снижается по мере истощения ресурса. Изменение *улова на ед. капитала* показано на графике: наименьшая эффективность лова показана на рис. 43, средняя эффективность лова — на рис. 44, наибольшая эффективность —

на рис. 45.



Список источников по теме

Кроме источников, перечисленных в сносках по тексту, тем, кто начинает изучать системы, можно порекомендовать еще некоторые книги. Существует много разной лите ратуры по системной динамике и системному мышлению, причем для самых разных сфер науки и повседневной жизни . Кроме того, много интересных ссылок можно найти на сайте www.ThinkingInSystems.org.

Системное мышление и моделирование

Книги

Bossel, Hartmut. *Systems and Models: Complexity, **Dyna**mics, Evolution, Sustainability*. (Norderstedt, Germn-ny: Books on Demand, 2007). Подробный учебник, описывающий основные теории и подходы к понима-

Автор приводит англоязычные источники. К сожалению, на русском **языке литературы по системной динамике не так много. Издание книги, которую вы держите в руках, — попытка восполнить этот пробел. Для тех немногих работ, которые издавались на русском языке мы приводим выходные данные и на англоязычный источник, и переводное издание. В дополнение к ним даются ссылки на работы, выполненные отечественными учеными, а также некоторые русскоязычные ресурсы. —*Примеч. ред.***

нию и моделированию сложных систем, определяющих динамику современного мира. В учебнике приводится большой

список литературы по теме.

Bossel, Hartmut. *System Zoo Simulation Models.* Vol. 1: *Elementary Systems, Physics, Engineering',* Vol. 2: *Climate, Ecosystems, Resources',* Vol. 3: *Economy, Society, Development.* (Norderstedt, Germany: Books on Demand, 2007). Подборка описаний и результатов имитационного моделирования для более чем 100 динамических систем, относящихся к самым разным областям науки, с полной документацией на модели, подробными результатами, упражнениями и возможностью бесплатной загрузки имитационной модели.

Forrester, Jay. *Principles of Systems.* (Cambridge, MA: Pegasus Communications, 1990). Впервые эта работа была опубликована в 1968 г., она положила начало системной динамики как науки.

Laszlo, Ervin. *A Systems View of the World.* (Cresskill, NJ: Hampton Press, 1996).

Richardson, George P. *Feedback Thought in Social Science and Systems Theory.* (Philadelphia: University of Pennsylvania Press, 1991). Долгая, богатая на события и очень интересная история обратных связей в социальной теории.

Sweeney, Linda B. and Dennis Meadows. *The Systems Thinking Playbook* (2001). Подборка из 30 упражнений для развития системного мышления и представлений о мысленных моделях. (Книга издавалась на русское языке: Линда Бут Свини, Деннис Медоуз. Сборник игр для развития системного мышления. М.: Издя* тельство «Просвещение», 2007. 288 с.)

Организации, веб-сайты, периодические издания и программное обеспечение

Creative Learning Exchange — организация, специализирующаяся на воспитании «системных граждан» в образовании К-12. Издает бюллетень *The CLE Newsletter* и книги для преподавателей и студентов, www. clexchange. org

isee systems, Inc. — разработчик языка программирования V *STELLA* и программного обеспечения *iThink* для моделирования динамических систем, www.iseesystems.com

Pegasus Communications — издательство выпускает два бюллетеня: *The Systems Thinker* и *Leverage Points,* а также различные книги и другие материалы по системному мышлению, www.pegasuscom.com

System Dynamics Society — международный форум для исследователей, преподавателей, консультантов и всех, кто развивает и использует системное мышление в любой стране мира. Официальный журнал общества System Dynamics Society: *The Systems Dynamics Review,* www.systemdynamics.org

Ventana Systems, Inc. — разработчик программного

обеспечения *Vensim* для моделирования динамических систем, vensim.com

Системное мышление и бизнес

Senge, Peter. *The Fifth Discipline: The Art and Practice of the Learning Organization.* (New York: Doubleday, 1990). Системное мышление в бизнес-среде, а также вытекающий из него философский подход и дополнения к системному мышлению — гибкость и представление мысленных моделей. (Книга издавалась на русском языке: Питер Сонге. Пятая дисциплина. Искуство и практика обучающейся организации. М : Издательство «Олимп Бизнес», 2009. 448 с.)

Sherwood, Dennis. *Seeing the Forest for the Trees: A Manager's Guide to Applying Systems Thinking.* (Londuii: Nicholas Brealey Publishing, 2002).

Sterman, John D. *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World.* (Boston: Irwin McGraw Hill, 2000).

Системное мышление и окружающая среда

Ford, Andrew. *Modeling the Environment.* (Washington, DC: Island Press, 1999).

Системное мышление, общество и социальные сдвиги

Macy, Joanna. *Mutual Causality in Buddhism and General Systems Theory.* (Albany, NY: Stat University of New York Press, 1991).

Meadows, Donella H. *The Global Citizen.* (Washington, DC: Island Press, 1991).

Литература и ресурсы на русском языке

Борщев А. *От системной динамики и традиционного имитационного моделирования — к практическим агентным моделям: причины, технология, инструменты.* СПб, Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 2004.

Карпов Ю. Г. *Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с Anylogic 5.* СПб.: БХВ-Петербург, 2009. 400 с.

Каталевский Д. Ю. *Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении.* Учебное пособие. М.: Изд-во МГУ, 2010. 262 с. (в печати)

Медоуз Д. Х., Медоуз Д. JL, Рэндерс Й., Беренс В. *Пределы роста.* М.: Изд-во МГУ, 1991. 208 с.

Медоуз Д. Х., Медоуз Д. Л., Рэндерс Й. *За пределами роста.* М.: Изд. группа «Прогресс», + Пангея», 1004. 304 с.

Медоуз Д. Х., Медоуз Д. Л., Рандерс Й. *Пределы роста. 30 лет спустя.* М.: «Академкнига», 2008. 344 с.

Медоуз Д. Л. и др. *От соперничества к сотрудничеству.* Практическое руководство к активным методикам в экологическом образовании. М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 1999. 237 с., ил.

О'Коннор Дж., Макдермотт Й. *Искусство системного мышления. Необходимые знания о системах и творческом подходе к решению проблем.* М.: Альпина Бизнес Букс. 2006. 256 с.

Свини Л. Б., Медоуз Д. Л. *Сборник игр для развития системного мышления.* М.: Издательство «Просвещение», 2007. 288 с.

Сенге П. *Пятая дисциплина. Искусство и практика обучающейся организации.* М.: Издательство «Олимп-Бизнес», 2009. 448 с.

Сенге П., Клейнер А., Робертс Ш., Росс Р., Рот Дж., Смит Б. *Танец перемен: новые проблемы самообучающихся организаций.* М.: Издательство: Олимп-Бизнес, 2004. 624 с.

Сенге П., Кэмброн-Маккейб Н., Даттон Дж. и др. *Школы, которые учатся: книга ресурсов пятой дисциплины //* пер. Л. В. Трубицыной. М. «Просвещение», 2010. 575 с.

Сидоренко В. Н. *Системная динамика.* М.: Экономический факультет МГУ; ТЕИС, 1998. 205 с.

Форрестер Дж. *Мировая динамика.* М.: Наука, 1978. 167 с.

Сайт российского отделения общества системной **динами**ки: www.sdrus.org.ru

Алфавитный указатель

А

адекватность модели, 86-87, 163, 307 *Андерсон, Пол,* 33 антимонопольное законодательство, 211-215, 250

архетипы в системах архетип «манипулирование правилами», 223-226, 313 архетип «поддерживающие средства: зависимости и мании», 216-223, 270, 313 архетип «пределы роста», 104 архетип «сопротивление внешнему влиянию: неудачные попытки все

исправить», 187-193, 310
архетип «стремление к неверной цели», 226-231, 314 архетип «стремление к худшему», 202-205, 296-297, 311 архетип «трагедия общин», 193-201, 255, 311
архетип «успех к успеху», 209-215, 254, 258, 312 архетип «эскалация конфликта», 205-209, 270, 311
Б
балансирующие циклы (контуры) обратной связи, 24, 57-62, 248, 301 *Бальзак, Оноре де,* 62 *Бейтсон, Грегори,* 17
Берри, Венделл, 145, 228, 281
Берталанфи, Людвиг фон, 133
биоразнообразие, 260 *Боссел, Хартмут,* 17,
69-70 *Боулдинг, Кеннет,* 17,
148, 287, 293 буферы, 50, 93, 243-244, 306
Буш , Джордж, 240
В
валовой национальный продукт, 151, 228-230, 272 взаимное принуждение по общему согласию, 199-200 взаимосвязи в системах, 33-42, 141, 158, 305, 308
возобновимые ресурсы, 103-123 возобновимый запас, 103, 114-123 ВНП, 151, 228-230, 272 внутренняя ответственность в системе, 288-290 временные горизонты,
293-295 входящие потоки, 46-48, 55-56
выявление и анализ мысленных моделей, 146-147, 277-278
Г
Гавел, Вацлав, 13, 17, 172 *Гелбрэйт, Джон Кеннет,*
262
Глейк, Джеймс, 153 *Горбачев, Михаил,* 42,
175, 256 границы, 159-166 границы «от колыбели до могилы», 161-162 графики поведения системы во времени, 47 *Грей, Натан,* 287

д

Дейли, Герман, 17, 177 диверсификация, 213 динамика запасов и потоков, 46, 301 динамика истощения ресурса, 109, 113, 121 динамическое равновесие, 49, 82-83, 301, 305-306 доминирование, обратимое, 82-83, 104
З
зависимость, 216 закон минимума, 168 задержка в восприятии, 94-95, 99, 102 задержка отклика, 96, 98-99
запаздывания
вездесущие, 178. в восприятии, 94—95,

99, 102 в доставке, 95, 102 в отклике, 95, 98—99 в системе, 24, 51,

75-76, 92-103, 247 обратной связи, 246-248 определение, 76, 101-102, 172-175 точка воздействия, 102, 174, 236-239 запас капитала, рост, 66, 79, 88-91 запасы *(см. также* потоки) возобновимые, 103, 114 капитала, 66, 79, 88-91 колебания, 96-103 невозобновимые, 103 определение, 43-45, 301 отклик на изменения, 56, 76 скорость извлечения, 111-114, 122 запасы и выигрыш во времени, 110 *Зимбардо, Филипп,* 181

И

иерархическое строение, 138-144, 302 иерархия, 138, 140, 302 изменения в системе, 25, 41, 180, 183

информационные потоки, 38, 56, 61, 180-181, 254-255 информация

распространение, 75, 272-273, 279-280 точка воздействия, 236-239 *Ипсен, Эрик*, 202 использование стратегии обратных связей, 285-286 использование языка, 280 использованию возобновимых запасов препятствуют ограничения самих возобновимых запасов, 114 истощение ресурса, 108-112 исходящие потоки, 44—48, 55-56

К

капитал, промышленный, 65-66, 88-91 *Картер, Джимми,* 42, 285 качество и количество,

283

Клинтон, Билл, 216, 240 ключевые точки, 235—267 колебания, 96-103 количество и качество, 283 конкурентное исключение, 24, 209-215

контуры обратной связи балансирующие, 24, 57-62, 301 определение, 24, 304 отрицательные, 24, 57-62, 301 положительные, 24, 62-66, 303 стабилизирующие, 24, 57-62, 301 усиливающие, 24, ч 62-66, 303 *Кофман, Фред,* 281 *Кратч, Джозеф Вуд,* 297 кривая *Коха,* 136 *Кун, Томас,* 265 *Кушман-младший, Джон,* 187

Л

Леопольд, Олдо, 127, 293 *Либих, Юстус,* 168 лимитирующий фактор,

168, 302 линейная зависимость, 153-154, 302 *Ловинс, Эймори,* 245 ловушки, 186-232

М

Майкл, Дон, 291 *Малкин, Лоуренс,* 235 *Мамфорд, Льюис,* 17 мания, 216-223

Маргалеф, Рамон, 43 *Мирке, Кирл,* 211 манипулирование правилами, 223-226, 313 *Медоуз, Деннис,* 12,
15-17, 91, 236, 244 междисциплинарность, 18, 295
мировоззрение, 18, 263-267, 275 модели, основанные на поведении, 151-152 *Мюрдаль, Гуннар,* 17

н

наблюдение за поведением системы, 276 *Назар, Сильвия,* 209 назначение системы, 33, 38, 261 наказания и штрафы, 198 научный подход, 279, 297 невозобновимые ресурсы,
103-114 невозобновимые СТОКИ, 197 невозобновимый запас препятствует использованию возобновимого **за** ■ паса, 103-114 недостающие обратные связи, 198, 255- 256 нелинейная зависимость, 116,153-155 неправильные представления, 266-267
О
области знаний, 294—295 образ мышления, 263-267 обратимое доминирование, 82-83, 104, 302 обратные связи с запаздыванием, 246-248 ограниченная рациональность, 176-184, 188, 191, 194, 196, 302, 309 ограничения в системе, 21,
104-105, 307 ответственность в системе, 288-290 отрицательный цикл (контур) обратной связи, 24, 57-62, 301

п

парадигма, 302 параметры системы, 47, 239
Пирсиг, Роберт, 19 поддерживающие средства: зависимости и мании, 216-223, 270, 313 подсистемы, 138 положительный цикл (контур) обратной связи, 24, 62—66 потоки *(см. также* запасы) входящие, 44—46, 55-56 исходящие, 44—46, 55-56 определение, 43-44, 302 правила
манипулирование,
223-226, 313 точки воздействия, 225-226, 256 пределы роста, 104, 171-172 «Пределы роста»,
Д. Медоуз и др.,
12, 15-16, 332-333 приватизация общего ресурса, 198-199, 201, 289, 311 принцип конкурентного исключения, 24, 209-215 принцип лимитирующего фактора, 168, 302
Р
равновесие, динамическое, 49, 82-83, 301, 305-306 раздача собственности, 214 разнообразие, 213-214, 260 расширение временных горизонтов, 293-295 рациональность, ограниченная,

176-184, 188, 191, 194, 196, 302, 302, 309 *Рейган, Рональд,* 42, 263 ресурсы

возобновимые, 114-123 истощение, 108-112 невозобновимые, 103-114 ограничение, 103, 114

Ричбург, Кит Б., 217 рычаги воздействия, 102, 174, 236-239

С

Саймон, Герберт, 177-178 самоорганизация определение, 303 точка воздействия, 258-261 самоподдержание, 281-283, 303 сведение игроков к одному уровню, 214 *Свифт, Джонатан,* 138 *Сенге, Питер,* 17 синдром «вареной лягушки», 203—204 система взглядов и понятий, 263, 302 системное вйдение, 265, 271 системные архетипы, 301 системные ловушки и возможности, 185-232, 310 системы и свойства выводы, 275 гибкость, 303 запаздывание, 75-76, 92-103 иерархия, 138, 140, 302 назначение, 33, 38, 261 определение, 302 самовосстановление, 35, 129-130 самоорганизация, 303 самоподдержание, 303

точки воздействия, 23G-23G, 315 упругость, 303 устойчивость, 303 функция, 261, 303 системы с двумя запасами возобновимый запас ограничен другим возобновимым запасом, 114-123 возобновимый запас ограничен невозобновимым запасом, 103-114 системы с одним запасом запас с двумя конкурирующими балансирующими циклами,

70-79 запас с одним усиливающим и одним балансирующим циклом, 79-92 с запаздываниями, 92-103 Слинки, 20-22, 150 *Смит, Адам,* 176, 179,

183, 265 скорость истощения запасов, 108-112 сложность, 136-138, 238 снежинка *Коха,* 136 события в системе,

148-153 соглашение о разоружи нии, 208—209 *Сол, Джон Рэлстон,* IH сопротивление внешнему влиянию: неудачные попытки все исправить, 187-193, 310 способность к самовосстановлению, 35, 129-130 стабилизирующие циклы обратной связи, 24, 57-62, 301 статичная стабильность, 130 стимулы, 256-257 стратегии в системах с обратными связями, 285-286 стремление к неверной цели, 226-231, 314 стремление к худшему, 202-205, 296-297, 311 структурные схемы и диаграммы, 26, 44 субоптимизация, 143, 303

т

Тинберген, Ян, 62 точки воздействия, 235-267, 315 трагедия общин, 193-201, 255, 311 традиционное деление на области знаний, 165,

294-295

У

увеличение разнообразия, 213-215

управление общинами, 198 упругость системы, 303 уравнения в динамических моделях

уравнение для расчета капитала, 323, 325-328 уравнение для расчета складских запасов, 323-325 уравнение для расчета суммы на банковском счете, 319 уравнение для расчета температуры в помещении, 320-321 уравнение для расчета температуры кружки с кофе, 318-319 уравнение для расчета уровня воды в ванне, 318

уравнение для расчета численности населения, 321-322 уровни пределов, 166 усиливающий цикл обратной связи, 24, 62-66, 252, 303 успех к успеху, 209-215, 254, 258, 312 устойчивость системы, 128-130, 303

Ф

флуктуации, 149, 175,
244, 246

Форрестер, Джей, 17, 54,
169, 173, 236 237, 248,
263

фракталы, 136, 292

правила построения, 136

Х

Хаберманн, Клайд, 205 *Хардин, Гаррет,* 17, 159, 194, 196-199, 290 *Холлинг, Кроуфорд*

Стэнли, 128, 156, 159

ц

цели

неверные, 226—231, 314 стремление к лучшему, 296-297 стремление к худшему, 202-205, 296-297, 311

точки воздействия, 231 цель системы, 33, 38, 261 цены, несоответствующий отклик, 255 циклы обратной связи балансирующие, 24, 57-62, 301 определение, 304 отрицательные, 24, 57-62, 301

положительные, 24, 62-66, 303 стабилизирующие, 24, 57-62, 301 усиливающие, 24, 62-66, 303

ч

Чаушеску, Николае, 190 *Честертон, Гилберт Кит,* 269 численность населения, 79-88

ш

штрафы и наказания, 19Н, 256
Шумахер, Эрнст Фридрих, 17

э

Эйкофф, Рассел, 20 Эйнштейн, Альберт, 17, 69, 265 *Эмерсон, Ральф Уолг)о,*
264
элементы системы, Я1, эскалация конфликта, 205-209, 270, 311

Оглавление

Донелла Медоуз — современная Кассандра.

Часть III. Изменяем системы и мировоззрение

Глава 6. Ключевые точки — возможность изменить

notes

1

7 млрд человек, май 2010 г. — *Примеч. ред.*

2

Институт устойчивого развития (Sustainability Institute, штат Вермонт, США) был основан в 1996 г. Донеллой Медоуз и занимается применением системного мышления и методов обучения организаций для решения экономических, экологических и социальных проблем. —*Примеч. ред.*

3

Обе книги издавались на русском языке: *Медоуз Д. Х., Медоуз Д. Л., Рэн дерсИ.* За пределами роста. М.: Изд. группа «Прогресс», «Пангея», 1994 304 с.; *Медоуз Д. Х., Медоу \Д.Л., Рэндерс Й., Беренс В.* Пределы роста. М.: Изд-во МГУ, 1991. 208 с. — *Примеч. ред.*

***Russell Ackoff*. The Future of Operational Research Is Past // Journal of the Operational Research Society. 30. 2 (February 1979). 93-104.**

5

Редукционизм (от лат. *гейисНо*) — методологический принцип, согласно которому сложные явления могут быть полностью объяснены с помощью законов, свойственных более простым явлениям. [Принцип редукции — сведение сложного к простому, высшего к низшему.] — *Примеч. ред.*

Трагедия общин известна также под названиями ♦ трагедия общинных пастбищ*, «трагедия ресурсов общего пользования» и т. п. Эта и другие часто встречающиеся системные структуры, генерирующие определенные типы поведения, подробно описаны в гл. 5 «Системные ловушки и возможности». — *Примеч.ред.*

Poul Anderson, цитируется по книге: *Arthur Koestler*. The Ghost in the Machine. New York: Macmillan, 1968. 59.

8

Определения для понятий, выделенных жирным шрифтом, приводятся в Глоссарии (см. Приложения).

***Ramon Margalef*. Perspectives in Ecological Theory // Co-Evolution Quarterly. Summer 1975. 49.**

В тексте здесь и далее понятия «запас» и «уровень* используются как синонимы; они соответствуют терминам «уровневая переменная* или ♦переменная-уровень», применяемым специалистами по системной динамике. «Потоки* в системной динамике принято характеризовать ♦потоковыми переменными*. — *Примеч. ред.*

Jay W. Forrester. **Industrial Dynamics. Cambridge, MA: The MIT Press, 1961. 15. Книга издавалась на русском языке:** ***Форрестер Дж.*** **Основы кибернетики предприятия (Индустриальная динамика). М.: Прогресс, 1971.340 с.**

12

Оноре де Бальзак, цитируется по книге: *George P. Richardson.* Feedback Thought in Social Science and Systems Theory. Philadelphia: University of Pennsylvania Press, 1991. 54.

13

Jan Tinbergen, цитируется по книге: *George P. Richardson.* Feedback Thought in Social Science and Systems Theory. Philadelphia: University of Pennsylvania Press, 1991. 44.

Более полный вариант модели приводится в книге «Динамика роста в конечном мире» (на русский язык не переводилась): *Dennis L. Mea dows et al.* Dynamics of Growth in a Finite World. Cambridge MA: Wright-Allen Press, 1974. См. главу «Population Sector*.

15

Системы с одинаковой структурой обратных связей демонстрируют схожие типы поведения.

Одно из ключевых положений системной теории (настолько же важное, как и вывод о том, что системы в основном сами служат причиной собственного поведения) гласит: системы с одинаковой структурой обратных связей демонстрируют схожие типы поведения, даже если во внешнем облике этих систем нет никаких общих черт.

Население и промышленная экономика ничем не похожи друг на друга, за исключением того, что они в состоянии сами воспроизводить себя и тем генерировать экспоненциальный рост. И население, и капитал стареют и умирают. Охлаждение кружки с кофе и нагретой комнаты, радиоактивный распад, старение и умирание населения, старение и выбывание капитала имеют одну и ту же динамику. В каждом случае уменьшение — результат работы балансирующего цикла обратной связи.

Система с запаздываниями: склад товаров

Представьте себе склад какой-либо продукции, предназначенной для продажи (например, новые автомобили на стоянке у дилера), с входным потоком в виде поставок машин с автозавода и выходным потоком в виде продаж конечным потребителям. Запас автомобилей у дилера имеет такую же динамику, что и вода в ванне.

Jay W. Forrester. **The System Dynamics National Model: Macrobehavior**

from Microstructure, в издании *P. M. Milling and E. O. K. Zahn, eds.*

Computer-Based Management of Complex Systems: International System

Dynamics Conference. Berlin: Springer-Verlag, 1989.

17

Стеллерова корова (морская корова животное отряда сирен), открытая в 1741 г. Георгом Стеллером во время экспедиции В. И. Беринга, была полностью истреблена к 1768 г. Так был установлен печальный рекорд человеческого безрассудства: от открытия вида до его полного истребления прошло всего 27 лет. — *Примеч. ред.*

•*k-k*

Jonathan Swift. **Poetry, a Rhapsody, 1733, в издании The Poetical Works of Jonathan Swift. Boston: Little Brown & Co., 1959. Отдельные стихотворения Джонатана Свифта публиковались на русском языке в переводе С. Я. Маршака.**

19

Примером субоптимизации может служить часто встречающаяся в бизнесе ситуация, когда действия отдельного подразделения компании максимизируют его прибыль, но вызывают снижение прибыли предприятия в целом, причем иногда в гораздо большем масштабе. — ***Примеч. ред.***

Adam. Smith. **An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations,** ***Edwin Cannan, ed.*** **Chicago: University of Chicago Press, 1976. 477—8. (Книга многократно выходила на русском языке в различных переводах. Одно из изданий:** ***Смит А.*** **Исследование о природе и причинах богатства народов, в 2 т. М.: Издательство «Наука», 1993. 570 с.)**

Herman Daly, ed. **Toward a Steady-State Economy. San Francisco: W. H. Freeman and Co., 1973. 17; *Herbert Simon.* Theories of Воипс1«ч1 Rationality, в издании *R. Radner* and *C. B. McGuire, eds.* Decision** and **Organization. Amsterdam: North-HollandPub. Co., 1972.**

22

В оригинале используется слово «satisficing», образованное от слияния глагола «satisfy» (удовлетворять) и «suffice» (быть достаточным). Термин впервые применил Герберт Саймон; им он описывал такое по- I ведение при принятии решений, при котором потребности удовлетворяются в достаточной степени, но при этом нет стремления получить неограниченные доходы на фоне недостаточной информации. *H. Simon.* Models of Man. New York: Wiley, 1957.

23

Пересказ на основе интервью: *Barry James.* Voltaire's Legacy: The Cult of the Systems Man: International Herald Tribune, December 16, 199?, p. 24.

В отечественной литературе по управлению и ведению бизнеса исходное название этого архетипа *(shifting the burden to the intervenor)* часто переводится как «подмена проблемы», «перекладывание проблем на плечи помощника», «переложение бремени, нагрузки» и даже «перекладывание ответственности». Эти искаженные названия не отрицают смысл исходного понятия, не передают сути архетипа и могут создать у читателей ложное представление об особенностях подобных системных ловушек. На самом же деле речь идет о возникновении мании, пагубной зависимости от разного рода поддерживающих средств, которые позволяют уменьшить или замаскировать симптомы, но ничего не делают для реального решения проблемы. — *Примеч. ред.*

Цитируется по газете. *Thomas L. Friedman.* Bill Clinton Live: Not Just aTalkShow: International Herald Tribune, December 16,1992, p. 6. I

25

Donald N. Michael, цитируется по изданию: *H. A. Linstone and W. H. C. Simmonds. eds.* Futures Research. Reading, MA: Addison-Wesley, 1977. 98-99.

Aldo Leopold. **A Sand County Almanac and Sketches Here and There. Now York: Oxford University Press, 1968.224-25. (Книга издавалась на ру • ском языке: *Олдо Леопольд.* Календарь песчаного графства. М.: И яд тельство «Мир», 1980. 216с.)**

Kenneth Boulding. **The Economics of the Coming Spaceship Earth, в издании *H.Jarrett, ed.* Environmental Quality in a Growing Economy: Essays from the Sixth Resources for the Future Forum. Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press, 1966.11—12.**